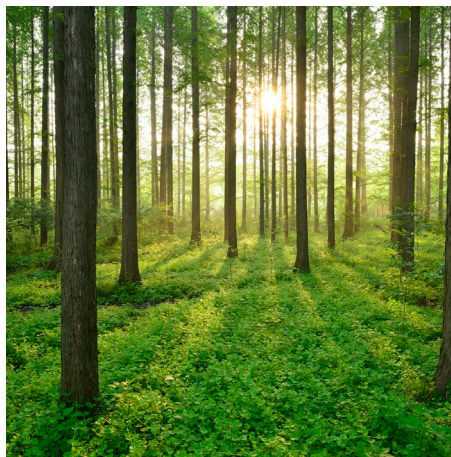


DIREKTJORDADE STARKSTRÖMS-ANLÄGGNINGARS PÅVERKAN

RAPPORT 2024:1033



RISK- OCH TILLFÖRLIGHETSANALYS



Direktjordade starkströmsanläggningars påverkan

SONJA BERLIN, DANIEL KARLSSON, LARS MESSING, PIETER PRETORIUS, JAN-OLOV SJÖDIN,
MATS KVARGREN, MIKAEL HEMNELL, ALIJA COSIC

ISBN 978-91-89919-33-4 | © Energiforsk juli 2024

Energiforsk AB | Telefon: 08-677 25 30 | E-post: kontakt@energiforsk.se | www.energiforsk.se

Förord

Programmet Risk- och tillförlitlighetsanalys har hanterat projektet *Direktjordade starkströmsanläggningars påverkan på omgivningen vid kort fränkopplingstid och hög beröringsspänning*. Projektet har studerat föreskriften för elektriska starkströmsanläggningar, där de nya kraven är en kroppsresistans på 1000 Ω och en beröringsspänning på 220 V, jämfört med de tidigare kraven på 3000 Ω och 600 V. Projektet belyser om en högre spänning än 220 V kan tillåtas om fränkopplingstiden är kortare än 0,5 s i enlighet med svensk standard. En del av projektet är också att utvärdera lågspänningsnätets tålighet för att uppskatta konsekvenserna av ett jordfel.

Projektet har utförts av DNV, där Sonja Berlin varit projektledare. Huvudförfattare till olika avsnitten är enligt nedan:

Kapitel 4: Historiskt perspektiv: Jan-Olov Sjödin

Kapitel 5: Bortkoppling av jordfel på ledning: Lars Messing, DNV

Kapitel 6: Påverkan på omgivningen vid jordfel: Mats Kvarngren

Kapitel 7: Främmande potential i byggnad: Mikael Hemnell, Schneider Electric

Kapitel 8: Mätning av steg- och beröringsspänningar: Alija Cosic, Svenska kraftnät

Kapitel 9: Referenser och hur andra gör: Pieter Pretorius, DNV

Kapitel 10: Riskanalys för nytt krav i svensk föreskrift: Daniel Karlsson, DNV

Kapitel 11: Rekommendationer: Daniel Karlsson, DNV

Referensgruppen har, förutom kapitelförfattarna ovan, bestått av medlemmarna Lars Hansson Elsäkerhetsverket, Alija Cosic Svenska kraftnät, Arne Berlin Vattenfall, Claes Ahlrot E.ON, Henrik Rinnemo Ellevio, Per-Olof Åhs Ellevio, Thomas Liljenberg NKT och Susanne Stjernfeldt Energiforsk.

Tack till programstyrelsen som hanterat och följt projektet:

- Jenny Paulinder, Göteborg Energi Nät (ordförande)
- Emil Welin, Vattenfall Eldistribution
- Linus Hansson, Ellevio
- Geoffrey Jordaen, Svenska kraftnät
- Fredrik Andersson, Elinorr
- Magnus Brodin, Skellefteå Kraft Elnät
- Mattias Jonsson, Umeå Energi
- Hampus Halvarsson, Jämtkraft Elnät
- Johan Mikkelsen/Stefan Undén, Öresundskraft
- Henric Johansson, Jönköping Energi Nät
- Fredrik Byström Sjödin, Installatörsföretagen
- Carl Johan Wallnerström, Ei (adjungerad)

Här redovisas resultat och slutsatser från ett projekt inom ett forskningsprogram som drivs av Energiforsk. Det är rapportförfattaren/-författarna som ansvarar för innehållet.

Stockholm i juni 2024

Susanne Stjernfeldt

Energiforsk AB
Forskningsområde Elnät Vindkraft och Solel

Sammanfattning

Syftet med projektet är att ta fram underlag för att bedöma konsekvenserna av en höjning av tillåten beröringsspänning på utsatta delar i samband med jordfel i de direktjordade högspänningsnäten, genom att tillåten felbortkopplingstid kortas i enlighet med standarden SS-EN 50522, jämfört med dagen krav på 0,5 s enligt ELSÄK-FS-2022:1. Detta med tanke på sakskada och driftstörning utanför den primärt jordfelsdrabbade högspänningsanläggningen. Frågan om elchock ligger utanför ramen för uppdraget, då förekommande beröringsspänningar över bar kropp inte ska överstiga maximalt tillåten spänning U_{Tp} enligt svensk standard. Nuvarande regelverk tillåter maximalt 220 V på utsatt del, mätt över en resistans om 1 k Ω , och en maximal felbortkopplingstid om 0,5 s.

Baserat på nedanstående slutsatser från riskanalysen har rapportförfattarna inte funnit några tungt vägande skäl som talar mot en sådan föreskriftsändring.

- 1) Så länge fas, neutral och skyddsjord alla har en gemensam potentialreferens i matande nätstations stationsjord, kan inga skadliga spänningar uppstå mellan dessa ledare i, till nätstationen kopplade, felfria och korrekt utförda lågspänningsanläggningar, eller därtill kopplade apparater. Om lokal jord, skild från matande stationsjord, leds in i en apparat, skulle dock en skadlig potentialskillnad kunna uppstå. Apparaten skulle då kunna haverera, men knappast orsaka någon brand.
- 2) Under vissa speciella förhållanden skulle en skadlig potentialskillnad kunna uppstå mellan fas eller neutral och skyddsjordat hölje, alternativt mellan fas och neutral. För alla felströmmar, jordfelsström eller kortslutningsström, där fasledaren är involverad skyddar gruppcentralens säkring mot brand. För fel mellan neutral och skyddsjord finns ingen bakomliggande felströmsdrivande spänning och ett eventuellt överslag eller genomslag sloknar när jordfelsströmmen bryts. En apparat kan haverera, men knappast orsaka någon brand.
- 3) Elektroniska apparater, t ex likriktare för katodiskt korrosionsskydd av metallrör i mark, där sekundärkretsens ena eller båda poler är lokalt jordade kan utsättas för överspänningar inne i apparaten i samband med markpotentialhöjning vid jordfel, som beror på potentialskillnaden mellan lokal jord och matande nätstations jordtag. Den elektroniska apparaten skulle kunna haverera, men knappast kunna orsaka någon brand. Elektroniska apparater där risk för sådan överspänning föreligger bör skyddas med överspänningsskydd.
- 4) Under mycket ogynnsamma förhållanden skulle en skadlig potentialskillnad kunna uppstå mellan en skyddsjordad metallisk kapsling som hämtar sin potential långt bort via PEN-ledaren och ett närliggande

lokalt jordat metallföremål. Om det då finns lättantändligt och brännbart material i omedelbar närhet skulle en överslagsgnista kunna starta en brand. Beräkningar visar dock att med rimliga värden på ingångsdata, såsom beröringsspänning och motsvarande obelastat spänningsvärde, så blir energiinnehållet i en sådan överslagsgnista så litet att det är mycket osannolikt att en brand ska kunna starta.

- 5) Maximalt tänkbart energiinnehåll i en överslagsgnista med dagens regelverk har jämförts med motsvarande värden för den föreslagna föreskriftsändringen, varvid endast marginella skillnader har konstaterats.
- 6) Skador till följd av induktion i näraliggande signalkablar har hittills förebyggts med överspänningsskydd, vilket bedöms fungera bra även med en förändring av föreskriften.
- 7) Icke-elektriska anläggningar, såsom vägräcken, viltstängsel och liknande bedöms inte kunna ta skada av den föreslagna föreskriftsändringen eller orsaka brand i sin omgivning.
- 8) Om en höjning av tillåten beröringsspänning inte kommer att påverka storleken på jordfelsströmmen, kommer anläggningar, som inte kontrolleras i samband med en beröringsspänningsmätning, att kunna utsättas för höga spänningar. Dessa spänningar är inte beroende av storleken på tillåten beröringsspänning utan direkt beroende av storleken på jordfelsströmmen.

Nyckelord

Direktjordade högspänningsanläggningar, jordfel, beröringsspänning, utsatt del, förekommande spänning, felbortkoppling, felbortkopplingstid, markpotential, induktion, skada, sakskada, driftstörning, ELSÄK-FS 2022:1, EN 50522

Summary

The purpose of the project is to derive a basis for assessing the consequences of an increase in the permissible touch voltage in connection with earth-faults in the directly earthed high-voltage networks, by shortening the permissible fault clearance time in accordance with the standard SS EN 50522, compared with the current requirement of 0.5 s according to ELSÄK FS 2022:1. The investigation is performed with respect to property damage and operational disturbance outside the high-voltage installation primarily affected by the earth-fault. The issue of electric shock is outside the scope of the assignment, as existing touch voltages over the bare body should not exceed the maximum permissible voltage U_{Tp} according to Swedish standards. Current regulations allow a maximum of 220 V on the exposed part, measured over a resistance of 1 k Ω , and a maximum fault clearance time of 0.5 s.

Based on the following conclusions from the risk analysis, the investigation has not found any strong argument against such a regulatory change.

- 1) As long as the phase, neutral and protective earth all have a common potential reference in the feeding secondary substation station-earthing, no harmful voltages can arise between these conductors in faultless and correctly designed low-voltage installations connected to the secondary substation, or in appliances connected to them. If, however, a local earth, separated from the supplying secondary substation station-earthing, is led into an appliance, a harmful potential difference could arise. The apparatus could then be damaged or misoperate, but hardly cause a fire.
- 2) Under certain special conditions, a harmful potential difference could occur between the phase or neutral and the earthed enclosure, or between the phase and neutral. For any fault current, earth-fault current or short-circuit current, where the phase conductor is involved, the nearest fuse will protect against fire. For faults between the neutral and the protective earth, there is no fault current driving voltage source, and any flashover or breakdown is extinguished when the earth-fault current is interrupted. An appliance may be damaged or misoperate, but hardly cause a fire.
- 3) Electronic devices, such as rectifiers for cathodic protection of metal pipes in the ground, where one or both poles of the secondary circuit are locally earthed, may be exposed to overvoltages inside the device in connection with the rise in ground potential during earth faults, which is due to the potential difference between local earth and the earthing terminal of the supplying network. The electronic device could be damaged or misoperate, but could hardly cause a fire. Electronic devices where there is a risk of such overvoltage should be protected by surge arrester protection.
- 4) Under very unfavourable conditions, a harmful potential difference could arise between a shielded metallic enclosure that picks its potential from far

away via the PEN conductor and a nearby locally earthed metallic object. If there is then flammable and combustible material in the immediate vicinity, a flashover spark could start a fire. However, calculations show that with reasonable values of input data, such as touch voltage and the corresponding unloaded voltage value, the energy content of such a flashover spark is so small that it is very unlikely that a fire could start.

- 5) The maximum conceivable energy content of a flashover spark with the current regulations has been compared with the corresponding values for the proposed adjustment of the regulations, whereby only marginal differences have been found.
- 6) Damage due to induction in neighbouring signal cables has so far been prevented by means of surge protection, which is deemed to work well even with a change in the regulation.
- 7) Non-electrical installations, such as road barriers, game fences and the like, are not expected to be damaged by the considered adjustment of the regulation or to cause a fire in their surroundings.
- 8) If an increase in the permissible touch voltage will not affect the magnitude of the earth-fault current, installations, that are not checked in connection with a touch voltage measurement, may be exposed to high voltages. These voltages are not dependent on the magnitude of the permissible touch voltage but directly dependent on the magnitude of the earth-fault current.

Key words

Directly earthed high-voltage installations, earth-fault, touch voltage, exposed part, fault clearance, fault clearance time, earth potential, induction, damage, material damage, operational fault, ELSÄK-FS 2022:1, EN 50522

Innehåll

1	Introduktion	11
1.1	Bakgrund	13
1.2	Metodik Arbetsgång	13
1.3	Beteckningar som används i detta dokument	15
2	Nuvarande regelverk och standarder	17
2.1	Lagar och Förordningar	17
2.2	Föreskrifter	18
2.2.1	Uppbyggnaden av ELSÄK-FS 2022:1	20
2.2.2	Drifttillstånd för högspänningsledning	20
2.3	Standarder	21
2.4	Krav vid beröringsspänningsmätningar	21
2.4.1	Beröringsspänningskrav enligt SS-EN 50522	22
3	Beskrivning av förslag på nytt krav i föreskrift	24
4	Historiskt perspektiv	26
4.1	Induktion	27
4.2	Markpotentialer	27
4.3	Vattenfalls utredning P _k -71	27
4.3.1	Uppföljande studie 1990	28
4.4	Lagar, Föreskrifter, m.m.	28
4.5	Markpotentialer, nutid	29
4.6	Jordfel	30
5	Bortkoppling av jordfel på ledning	32
5.1	Generella felbortkopplingssekvenser	32
5.2	Speciellt intressanta felbortkopplingssekvenser	33
5.2.1	130 kV utan kommunikation – ordinarie bortkoppling	33
5.2.2	130 kV utan kommunikation – reserv i angränsande station	34
5.2.3	130 kV lokal reserv och brytarfel	34
5.2.4	130 kV fel mellan strömtransformator och brytare	35
5.3	Frånkopplingstid och skadeverkan	36
6	Påverkan på omgivningen vid jordfel	37
6.1	Jordfel och symmetriska komponenter	38
6.2	Beskrivning av jordfel och dess konsekvenser	38
6.2.1	Induktion	42
6.2.2	Spänningsättning av mark	44
6.3	Utformning av ledningar och stolpar	47
6.4	Beröringsspänning	48
6.4.1	Relationen mellan belastat och obelastat värde	50
6.4.2	Beröringsspänningar med och utan tilläggsresistanser	57
6.4.3	Skillnad mellan spänning vid beröring och utan beröring	62

6.4.4	Påverkan på anläggningar	62
6.4.5	Anläggningar som skyddas och de som inte skyddas	63
6.5	Utformning och skyddsåtgärder	63
6.5.1	Markresistivitet	64
6.5.2	Utformning av anläggningar	64
6.5.3	Systemplanering	65
6.5.4	Exempel på skyddsåtgärder	66
6.6	Påverkan av kortare frånkopplingstid	68
7	Främmande potential i byggnad	70
7.1	Skadlig potential	70
7.2	Risk att föra in annan potential i byggnad	70
7.3	Byggnadens jordning	71
7.4	Beröringsspänning	72
7.5	Anläggning med skyddsutjämning	73
7.6	Nya anläggningar	75
7.7	Förhöjd potential i neutralledaren	76
7.8	Anläggning utan skyddsutjämning	77
7.9	Skyddsåtgärder enligt elinstallationsreglerna	78
7.10	Konklusion av elinstallationsreglerna	81
7.11	Överspänningskategorier	82
7.11.1	Konklusion av spänningsklasser	83
7.12	Apparaters tålighet i den fasta installationen	83
7.12.1	Strömställare	83
7.12.2	Fast installerade apparater med elektronik	85
7.12.3	Konklusion apparater i den fasta installationen	85
7.13	Apparater anslutna via stickpropp	86
7.14	Sammanfattning	89
8	Mätning av steg- och beröringsspänningar	90
8.1	Utvecklingen av ELSÄK-FS	90
8.2	Svensk Standard	90
8.3	Mätning av beröringsspänning enligt SS EN-50522	91
8.4	Åtgärder vid uppmätta värden	96
9	Referenser och hur andra gör	98
9.1	Conclusions	98
9.2	Recommendation	100
10	Risakanalys för nytt krav i svensk föreskrift	101
10.1	Den elektriska faran	101
10.2	Acceptanskriterier	102
10.3	Ansats och analysförutsättningar	102
10.4	Förekommande spänningar i samband med jordfel	103
10.4.1	Utsatt del nära jordfelet	103

10.4.2	Utsatt del långt från jordfelet	104
10.4.3	Lokal markpotential nära utsatt del	105
10.4.4	Objekt med lokalt jordat hölje	107
10.4.5	Lokalt jordad PE-skena	108
10.4.6	Objekt med isolerande transformator	110
10.4.7	Aktivt korrosionsskydd	111
10.4.8	Induktion	111
10.4.9	Sammanfattning av risksituationer	112
10.5	Risk för brand	113
10.5.1	Enkel analys för beräkning av en övre gräns för effektutvecklingen	113
10.5.2	En djupare ljusbågsanalys	117
10.5.3	Sammanfattning	118
10.6	Krav på isolationshållfasthet i lågspänningssystem	119
10.7	Skador eller störningar som konsekvens av Jordfel	119
10.8	Övriga identifierade risker i samband med jordfel	120
10.8.1	Icke föreskriftsenlig felbortkopplingstid	120
10.8.2	Vad avses med felbortkopplingskravet på 0,5 s	120
10.8.3	Hur hanteras snabbåterinkoppling av ledning efter fel	121
10.9	Påverkan på existerande drifttillstånd	121
11	Rekommendationer	122
12	Referenslista	124
	Bilaga 1: Referenser och hur andra gör	126

1 Introduktion

Elsäkerhetsverket har under 2022 uppdaterat sina föreskrifter för elektriska starkströmsanläggningar, med avseende på kroppsresistans och beröringsspänning. De nya kraven är en beröringsspänning på högst 220 V för en kroppsresistans på 1000 Ω ¹. De tidigare kraven var en beröringsspänning på högst 600 V för en resistans på 3000 Ω ². Kravet på fränkopplingstid för jordfel i direktjordade högspänningssystem, med jordslutningsströmmar överstigande 500 A, är inom 0,5 sekunder.

Ur ELSÄK-FS 2022:1 5 kap. 7 §, sista stycket: *"I högspänningsanläggningar med jordslutningsströmmar överstigande 500 A, kan betryggande säkerhet anses föreligga om förhöjda markpotentialer till följd av jordslutningsströmmen är utjämnade och förekommande spänningar inte överstiger 220 V vid en mätresistans om 1 k Ω ".*

Ur ELSÄK-FS 2022:1 5 kap. 4 §: *"I högspänningsanläggningar med jordslutningsströmmar överstigande 500 A ska jordslutningar fränkopplas inom 0,5 s. I starkströmsanläggningar för högspänning innehållande luftledning för högspänning med jordslutningsströmmar understigande 500 A ska jordslutningar fränkopplas inom 5 s".*

Föreliggande rapport belyser huruvida en högre spänning än 220 V kan tillåtas om fränkopplingstiden är kortare än 0,5 s, i enlighet med svensk standard, SS-EN 50522, utg 2:2022³. I föreskriften står det max 220 V och inte som standarden anger att det är kurvan med maximalt tillåtna beröringsspänningar vid olika fränkopplingstider, se **Figur 1**, som ska följas. Den högre spänningen under kortare tid har i föreliggande rapport belysts ur ett installations- och apparatperspektiv och inte ur ett elchockperspektiv. Elchockperspektivet är behandlat på annat sätt och ligger utanför uppdraget.

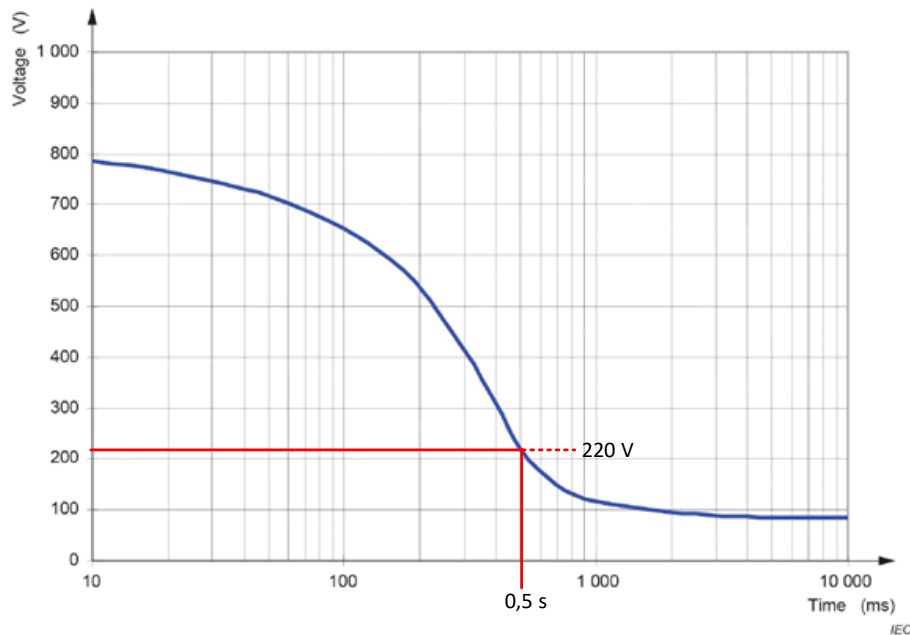
Kurvan i **Figur 1** anses ge betryggande säkerhet vid elchock. De risker som ska undersökas i föreliggande studie är vad som sker beträffande den "särskilda faran" dvs förhöjda markpotentialer och induktion. Både elchock och den "särskilda faran" är ju sammanbakade i nuvarande föreskriftstext⁴ genom "... betryggande säkerhet anses föreligga om förhöjda markpotentialer till följd av jordslutningsströmmen är utjämnade och förekommande spänningar inte överstiger 220 V.....".

¹ ELSÄK-FS 2022:1, Elsäkerhetsverkets föreskrifter och allmänna råd om hur starkströmsanläggningar ska vara utförda, ISSN 1103-405X, 5 kap, 7 §, 2022-04-28.

² ELSÄK-FS 2008:1, Elsäkerhetsverkets föreskrifter och allmänna råd om hur elektriska starkströmsanläggningar ska vara utförda, 2021-03-31.

³ SS-EN 50522, utgåva 2, *Jordning av elinstallationer överstigande 1 kV AC*, 2022-04-20.

⁴ ELSÄK-FS 2022:1, 5 kap, 7 §.



Figur 1: Tillåten beröringsspänning, enligt Figur 8 i SS-EN 50522, utg 2:2022⁵ (med ursprung från IEC 61936-1:2010⁶), och dess beroende av fränkopplingstid (blå kurva), samt tillåten beröringsspänning och maximal fränkopplingstid enligt ELSÄK-FS 2022:1 (röda linjer).

Föreliggande rapport avser att belysa om högre spänning under kortare tid påverkar "överförda potentialer", dvs. påverkar faran för andra anläggningar (t.ex. lågspänningsanläggningar och gasledning) kopplat till induktion eller influens samt risken för skada genom förhöjda markpotentialer bortom den jordfelsdrabbade starkströmsanläggningen. Svensk standard behandlar inte "överförda potentialer" till telekommunikation. Induktion berörs ej heller explicit i svensk standard, men kan inrymmas i begreppet "överförda potentialer". För andra områden anges att det ska beaktas, men det framgår inga fordringar eller vilka åtgärder som ska vidtas, se t ex avsnitt 6.2 i SS-EN 50522 utg 2:2022.

Föreliggande utredning ska således visa om en högre beröringsspänning under en kortare tid innebär att risker för skador på tredje parts egendom är acceptabelt låga. Projektresultatet ska visa om det är rimligt att tillåta högre spänningsnivåer under kortare tid, med tillräcklig säkerhet mot sakskada. En del av projektet är också att utvärdera lågspänningsnätets tålighet för att kunna uppskatta konsekvenserna av ett jordfel i de direktjordade högspänningsnäten (400, 220 och 130/110 kV näten).

⁵ SS-EN 50522, utg 2:2022, Figure 8.

⁶ IEC 61936-1, Edition 2.0, 2010-08, *Power installations exceeding 1 kV a.c. – Part 1: Common rules*, Upphävd, Figure 12.

1.1 BAKGRUND

Med en jordslutningsström, vid ett jordfel, avses en oavsiktlig förekomst av en kraftfrekvent strömkrets mellan en spänningssatt del och jorden, som uppstår på grund av att isolationsresistansen till jord blir mindre än ett visst värde, dvs att isolationen försvagas. Detta kan ske på olika sätt och av olika orsaker men i synnerhet på grund av åsknedslag. Den andel av den kraftfrekventa strömmen som går tillbaka till källan via jord kallas för jordslutningsström och orsakar en markpotentialstegring som kan sträcka sig långt från felstället. Om en person som befinner sig inom det berörda området tar ett steg uppstår en spänning mellan fötterna, en så kallad stegspänning. Om en person istället berör något, som är isolerat från den lokala markpotentialen och som hämtar sin potential från någon annanstans, kan det uppstå en spänning mellan hand och fot, en så kallad beröringsspänning. För att undvika risk för elchock är det nödvändigt att steg- och beröringsspänningar håller sig inom vissa gränsvärden, som föreskrivs av Elsäkerhetsverket. Det är främst beröringsspänningen som sätter gränser för elchock. Rent praktiskt hålls beröringsspänningen inom gränsvärdena genom att simulera ett jordfel och mäta, samt vid behov genomföra nödvändiga skyddsåtgärder, för att få ner beröringsspänningen.

Skillnaden i potential mellan två punkter är ett mått på hur mycket upplagrad (potentiell) energi det finns tillgängligt för att driva elektriska laddningar mellan de två punkterna. Finns ingen energi tillgänglig som kan driva ström, så kommer inte heller någon ström att flyta. Vid en jordslutning drivs en ström genom marken, som ger upphov till spänningsskillnader i närområdet.

Ellagstiftningen syftar till att starkströmsanläggningar ska ge betryggande säkerhet. Elektriska anläggningar, som starkströmsanläggningar är en del av, är anläggningar för produktion, generering och användning av el. Den tidigare starkströmsförordning från 1957, beskrev starkströms-begreppet mer explicit enligt: "sådan anläggning med däri ingående särskilda föremål, i vilken alstras, omformas eller nyttjas elektrisk ström med sådan spänning, styrka eller frekvens, att fara för person eller egendom därav kan förorsakas. Annan elektrisk anläggning än nu sagts utgör svagströmsanläggning".

Således ingår inte "åska" i en starkströmsanläggning, utan det är den elektricitet som är genererad som berörs. Dock är åskan viktig ur ett elsäkerhetsperspektiv eftersom den kan förstöra anläggningar och orsaka elsäkerhetsbrister eller isolationsskador, och måste därför beaktas. Ibland är det bra att fokusera på åskan, medan det i andra sammanhang är lämpligare att fokusera på den genererade energin. Lagstiftningen omnämner normalt inte "jordfel", utan beskriver fenomenet vanligen som "jordslutningström" vilket mer pekar på just den genererade delen av elektrisk energi.

1.2 METODIK ARBETSGÅNG

I avsnitt 2 beskrivs regelverkens uppbyggnad, hierarki och beroende av varandra. Samtidigt som detaljerade föreskriftskrav ska vara så lika som möjligt inom så stora geografiska områden som möjligt, och speciellt inom stora handelsområden, såsom EU, så måste de även ta hänsyn till lokala variationer, t.ex. gällande

jordningsförhållanden, som har stor betydelse för risken för elchock och för anläggningssäkerheten vid jordfel i direktjordade system. Det blir därför ett önskemål att föreskriftskrav så långt som möjligt följer internationella och europeiska standarder.

I avsnitt 3 beskrivs det föreslagna föreskriftskravet, dvs. en beskrivning av den förändring man vill åstadkomma, samt motivering och farhågor.

I avsnitt 4 ges ett historiskt perspektiv på hur relevanta föreskriftskrav tolkats och på hur felbortkopplingen fungerar i direktjordade system.

I avsnitt 5 beskrivs nuvarande bortkoppling av jordfel på ledningar i de direktjordade systemen.

I avsnitt 6 beskrivs hur omgivningen påverkas vid jordfel i de direktjordade högspända systemen (400, 220, och 130/110 kV systemen).

I avsnitt 7 beskrivs främmande potential i byggnad, hur den uppkommer och vilka skador som kan uppstå.

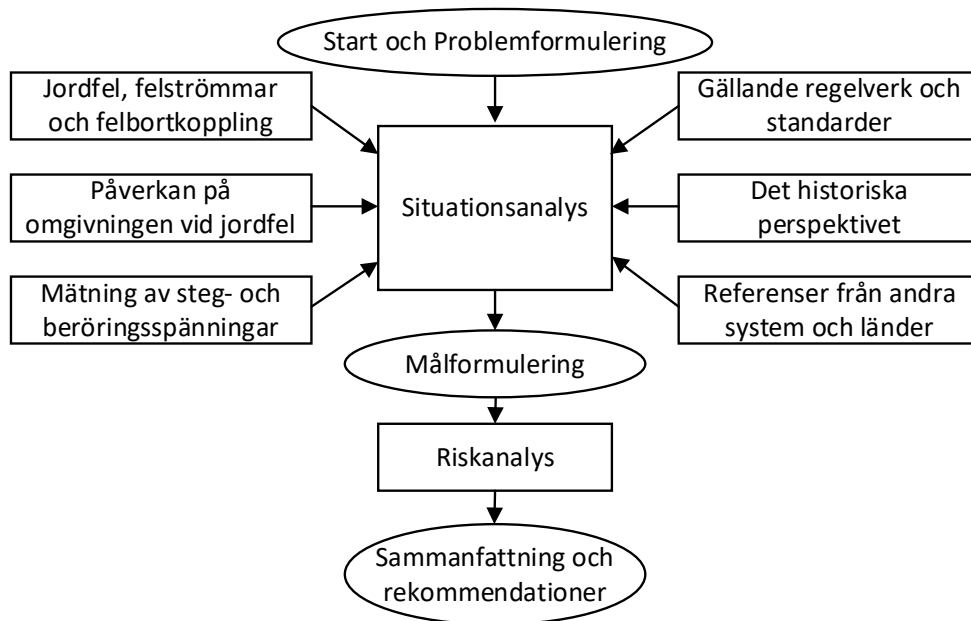
I avsnitt 8 beskrivs hur mätning av de personsäkerhetskritiska steg- och beröringsspänningarna går till.

I avsnitt 9 refereras hur man hanterar överförda potentialer och därtill kopplad person- och anläggningssäkerhet, i samband med jordfel i andra länder.

I avsnitt 10 görs en riskanalys, som svarar på frågan om vilka sakskador som kan uppstå i näraliggande anläggningar till följd av elektrisk induktion eller elektrisk influens i samband med jordfel i direktjordade högspänningsanläggningar.

Avsnitt 11 innehåller bedömningar, slutsatser och rekommendationer.

Figur 2 visar en schematisk bild över arbetsgången inom projektet, där de olika momenten inom situationsanalysen pågick parallellt. Problemformuleringen i projektets inledning var ett viktigt moment för att säkerställa att projektet fokuserade på att lösa rätt problem. Även målformuleringen var ett viktigt moment för att säkerställa att riskanalysen gjordes på ett relevant sätt.



Figur 2: Födesschema över arbetsgången i projektet.

1.3 BETECKNINGAR SOM ANVÄNDS I DETTA DOKUMENT

Detta avsnitt beskriver några beteckningar som används i detta dokument.

Från SS-EN 50522:

- U_T - beröringsspänning. Spänning mellan ledande delar vid samtidig beröring.
× Benämns även belastat värde
- $U_{Tp}(t_f)$ - tillåten beröringsspänning. Gränsvärde för beröringsspänning U_T .
- U_{VT} - förväntad beröringsspänning. Spänning mellan samtidigt åtkomliga ledande delar när dessa delar inte berörs.
× Benämns även obelastat värde
- $U_{vTp}(t_f)$ - tillåten förväntad beröringsspänning. Gränsvärde för förväntad beröringsspänning U_{VT} .
- I_F - jordfelsström. Ström som flyter från huvudkretsen till jord eller jordade delar vid felstället (jordfelsstället).
- I_E - ström till jord. Ström som flyter till jord via impedansen till jord.
- U_E - jordpotentialstegring (EPR). $U_E = I_E \times Z_E$
- Z_E - impedans till jord.
- ρ_E - markresistivitet.
- t_f - felets varaktighet
- $I_B(t_f)$ - tillåten kroppsström
- $Z_T(U_T)$ - tillåten kroppsström
- HF - hjärtströmfaktor
- R_H - Tillkommande handresistans
- R_F - Tillkommande fotresistans

Endast i detta dokument:

- R_{earth} - resistans som antas representera resistansen i marken vid beräkningar med U_{vT} och U_T .

2 Nuvarande regelverk och standarder

Regelverk och standarder som ligger till grund för elsäkerheten har olika nivåer, där lagar, förordningar och föreskrifter är direkt tvingande, medan normer och standarder är mer vägledande. Svensk standard, som i vissa fall ges presumtion enligt Elsäkerhetsverkets föreskrifter, har däremot en speciell ställning då dessa standarder anger aktuell säkerhetsnivå för starkströmsanläggningar. Det är de delar av svensk standard som behandlar elsäkerhetsfordringar enligt 3 kap. ELSÄK-FS 2022:1 som ges presumtion. Därutöver framgår, av de nämnda föreskrifternas 4-7 kap., även vissa enstaka miniminivåer som alltid ska innehållas för de fall svensk standards fordringar skulle understiga dessa. Normalt innehåller dock svensk standard högre fordringar än dessa miniminivåer. I de flesta fall tillämpas svensk standard vid uppförande av elektriska installationer varför standardernas fordringar ska tillämpas för att "god elsäkerhetsteknisk praxis" ska vara uppfyllt, vilket är ett föreskriftskrav. Om inte detta sker ska en egen riskhantering upprättas som visar att den egna lösningen minst motsvarar den säkerhetsnivå som framgår av svensk standard.

I detta avsnitt beskrivs kortfattat de dokument som är av intresse för föreliggande uppdrag.

2.1 LAGAR OCH FÖRORDNINGAR

Grunden för de krav som ställs för påverkan på omgivningen återfinns i Elsäkerhetslagen⁷ samt Elsäkerhetsförordningen⁸. I Elsäkerhetsförordningen⁹ bemyndigas även Elsäkerhetsverket att meddela föreskrifter gällande elsäkerhet. Föreskrifterna innehåller mer precisa, tekniskt formulerade och mätbara, krav som ska vara uppfyllda för att betryggande säkerhet ska anses föreligga.

Elsäkerhetslagen anger de skyldigheter som åligger en innehavare av en starkströmsanläggning, på över 1 000 V, där det kan uppkomma en jordfelsström som överstiger 500 A. I Elsäkerhetslagen¹⁰ anges:

"7 § Om en tillkommen elektrisk anläggning kan vålla personskada eller sakskada eller driftstörning genom inverkan på en annan redan befintlig elektrisk anläggning, ska innehavaren av den förstnämnda anläggningen vidta de åtgärder som behövs vid den anläggningen för att förebygga sådan skada eller störning."

"11 § Den som innehar en starkströmsanläggning med en spänning som överstiger 1 000 volt mellan fasledare där det vid enfasigt fel kan uppkomma jordslutningsström med större styrka än 500 ampere och får kännedom om att det har tillkommit en elektrisk anläggning för svagström eller för starkström med en spänning av högst 1 000 volt mellan fasledare, ska vidta de åtgärder som behövs vid den förstnämnda anläggningen för att förebygga skada eller störning."

⁷ Elsäkerhetslag (2016:732), Sveriges riksdag, ändrad: t.o.m. SFS 2022:1135.

⁸ Elsäkerhetsförordning (2017:218), Sveriges riksdag, ändrad: t.o.m. SFS 2022:1198.

⁹ Elsäkerhetsförordning, 33 §

¹⁰ Elsäkerhetslag, Skyldighet i fråga om elektriska anläggningar, 7 §, 11 § och 13 §.

Åtgärderna ska vara ändamålsenliga för att förebygga att anläggningen genom induktion eller förhöjda markpotentialer påverkar den andra anläggningen och orsakar person- eller sakskada eller annan störning än ljudstörning."

"13 § Vid tillämpningen av 7, 8, 11 och 12 §§ ska en elektrisk anläggning anses tillkomma

- 1. när den tas i bruk och, om olika delar av anläggningen tas i bruk vid skilda tidpunkter, varje sådan del anses som en särskild tillkommen anläggning, och*
- 2. om den flyttas eller ändras i fråga om utförande eller drift och därigenom ökar risken för skada eller störning."*

Enligt Elsäkerhetslagen skall således skyddsåtgärder vidtas för att skydda andra elektriska anläggningar med låga systemspänningar. Däremot nämns inget om huruvida skyddet även skall gälla annan metallstruktur som inte är att betrakta som en elektrisk anläggning, såsom rörsystem, stängsel, etc.

Elsäkerhetsförordningen¹¹ beskriver i §§ 7 och 8 kraven på drifttillstånd för ledningar som ingår i direktjordade anläggningar. Drifttillstånden är till för att hantera den särskilda faran, dvs förhöjda markpotentialer och induktion.

7 § Om en högspänningsledning ingår i en direktjordad anläggning där det vid enfasigt fel kan uppkomma jordslutningsström med större styrka än 500 ampere, får ledningen inte tas i bruk innan Elsäkerhetsverket gett tillstånd till det (drifttillstånd).

Tillstånd behövs dock inte om högspänningsledningen är en kontaktledning för järnvägsdrift.

Vid tillämpningen av första stycket ska högspänning avse nominell spänning över 1 000 volt växelspanning eller över 1 500 volt likspänning.

8 § Ett drifttillstånd enligt 7 §

- 1. får ges endast om anläggningen ger betryggande säkerhet mot person- eller sakskada, och*
- 2. får begränsas till att gälla för viss tid.*

Drifttillståndet är därför viktigt i detta sammanhang då det är här som "överförda potentialer" hanteras för svensk del, dvs den "särskilda faran" i form av förhöjda markpotentialer och induktion. I drifttillståndet kontrolleras bl a att förhöjda markpotentialer är utjämnade och att nödvändiga kontroller/åtgärder skett i/på främmande närbelägna områden och anläggningar.

2.2 FÖRESKRIFTER

Enligt god elsäkerhetsteknisk praxis skall en starkströmsanläggning vara utförd så att den ger betryggande säkerhet mot elchock och sakskada p.g.a. el¹²:

"1 § En starkströmsanläggning ska vara utförd enligt god elsäkerhetsteknisk praxis så att den ger betryggande säkerhet mot personskada och sakskada på grund av el. ..."

¹¹ Elsäkerhetsförordning, Drifttillstånd för elektriska anläggningar.

¹² ELSÄK-FS 2022:1, 2 kap. God elsäkerhetsteknisk praxis, 1 §.

Texten anger den övergripande principen om att en starkströmsanläggning ska vara utförd enligt god elsäkerhetsteknisk praxis samt hur detta ska uppnås. Det framgår bland annat att om man följer svensk standard som behandlar föreskrifternas grundläggande krav enligt 3 kap. tillsammans med de särskilda säkerhetskraven i 4- 7 kap. så uppnås god elsäkerhetsteknisk praxis. Av de grundläggande säkerhetskraven enligt 3 kap. framgår att såväl elchock som övriga risker såsom höga temperaturer, ljusbågar eller mekaniska påkänningar ska vara beaktade för att en starkströmsanläggning inte ska medföra risk för person- eller sakskada.

I ELSÄK-FS 2022:1 saknas krav på skydd för andra anläggningar än elanläggningar¹³:

"2 § En starkströmsanläggning ska vara utförd så att människor och husdjur skyddas mot elchock som kan uppstå vid direkt beröring av spänningssatta delar eller av utsatta delar som blivit spänningssatta genom ett (1) fel."

En utsatt del definieras som *"för beröring åtkomlig ledande del av elektrisk utrustning, som normalt inte är spänningssatt, men som på grund av ett fel i den grundläggande isoleringen kan anta en farlig spänning"*.

Skrivning i ELSÄK-FS 2022:1¹⁴:

"7 § I högspänningsanläggningar ska spänningssättningsvärdet vara sådant att betryggande säkerhet ges vid uppkommen jordslutning. Värdet ska anpassas till rådande förhållanden på platsen."

Allmänna råd

De rådande förhållanden som bör beaktas är:

- *markresistivitet,*
- *markens ytbeläggning, och*
- *om människor förväntas befinna sig på platsen.*

För svenska förhållanden kan följande tilläggsresistanser till en mätresistans om 1 kOhm anses utgöra god elsäkerhetsteknisk praxis gällande beröringsspänningar:

- *0 Ohm vid badplatser, lekplatser, campingplatser, skolgårdar eller liknande platser där kroppens kontakt med omgivningen kan förväntas ha små begränsningar,*
- *4 kOhm vid platser där människor kan förväntas befinna sig, exempelvis driftrum, gator, vägar eller parkeringsplatser, eller*
- *7 kOhm för övriga platser.*

I högspänningsanläggningar med jordslutningsströmmar överstigande 500 A, kan betryggande säkerhet anses föreligga om förhöjda markpotentialer till följd av jordslutningsströmmen är utjämnade och förekommande spänningar inte överstiger 220 V vid en mätresistans om 1 kOhm."

I texten ovan kan man möjligtvis tolka att det kan gälla beröringsspänningar i allmänhet men endast kopplade till förhöjd markpotential. För de fall svensk standard skulle ges presumtion även för direktjordade anläggningar skulle

¹³ ELSÄK-FS 2022:1, 3 kap. Grundläggande säkerhetskrav, 2 §.

¹⁴ ELSÄK-FS 2022:1, 5 kap., 7 §

tilläggsresistanser kunna tillämpas. Sådana eventuella resistanser blir beroende på de lokala omständigheterna såsom markförhållanden, om det kan finnas människor på platsen samt hur människor förväntas bete sig där (t ex barfota eller om skor förväntas användas, etc). Till syvende och sist gäller alltid avsnitt 4.3 och 5.4.1 i SS-EN 50522, dvs att U_{Tp} enligt kurvan inte får överskridas gällande maximal spänningen över bar kropp. Även i kap 6.2.4 används dessa värden som exempel när U_{vTp} undersöks; vilket kan vara relevant.

2.2.1 Uppbyggnaden av ELSÄK-FS 2022:1

Utförandeföreskrifterna innehåller sju kapitel, där de inledande kapitlen 1 och 2 innehåller allmänna bestämmelser samt anvisningar om hur god elsäkerhetsteknisk praxis ska uppnås. Vidare anges också på vilket sätt lagstiftningen ger svensk standard presumtion samt de krav som ställs för de fall att en avvikelse sker från svensk standard. Kapitel 3 beskriver de grundläggande säkerhetskraven som ska tillämpas för att god elsäkerhetsteknisk praxis ska uppnås. Det innebär att det är dessa områden i svensk standard som omfattas av lagstiftningens presumtion. Det innebär normalt också att aktuell säkerhetsnivå sätts av svensk standard.

Dock finns det undantag. I kapitel 4-7 anges ett antal enskilda, särskilda krav som alltid måste uppfyllas oavsett vad som framgår av svensk standard. Svensk standard innehåller normalt fordringar för dessa särskilda krav och vanligen är standarderna mer krävande än föreskriften. Dessa högre krav i standarderna ska tillämpas när svensk standard används för att uppfylla god elsäkerhetsteknisk praxis. För de fall att en fordring saknas i svensk standard, eller har en lägre säkerhetsnivå, då ska ett krav enligt kapitel 4-7 tillämpas.

En sammanfattning av utförandeföreskrifterna kan beskrivas som att de särskilda kraven enligt kapitel 4-7 utgör en lägsta nivå, ett "golv", för vad lagstiftningen accepterar som god elsäkerhetsteknisk praxis gällande kraven i svensk standard. Endast för de fall en standard har lägre säkerhetskrav än kraven i kapitel 4-7, så blir dessa kapitel tillämpliga. I vissa fall kan kapitel 4-7 också innehålla krav som måste tillämpas för de fall svensk standard saknar en fordring som berör dessa kapitel.

2.2.2 Drifttillstånd för högspänningsledning

Detaljerna om drifttillstånd finns beskrivna i ELSÄK-FS 2011:3, där det bland annat står¹⁵:

...

Innehavaren av en högspänningsledning som ska tas i bruk ska ansöka om drifttillstånd hos Elsäkerhetsverket.

Med innehavare avses i dessa föreskrifter den som har nätkoncession för ledningen enligt 2 kap. ellagen (1997:857).

¹⁵ ELSÄK-FS 2011:3, *Elsäkerhetsverkets föreskrifter om ansökan om drifttillstånd*, ISSN 1103-405X, 2011-12-23, 3§

En högspänningsledning anses tagen i bruk när den är spänningssatt med sådan spänning, strömstyrka eller frekvens som kan vara farlig för person eller egendom. Ledningen anses tagen i bruk även när den är tillfälligt spänningssatt till exempel för provdrift.

.....

4. Redogörelse avseende mätningar eller beräkningar av markpotentialer och beröringsspänningar samt inducerade spänningar i närliggande ledningar, till exempel fjärrvärme- eller gasledning.

EBR¹⁶ har en beskrivning av hur viltstängsel skall utformas men den hanterar endast förhöjd markpotential vid jordfel i en närbelägen kraftledningsstolpe och inget om problem med induktion.

2.3 STANDARDER

Det som inte finns beskrivet i lagar och föreskrifter kan kompletteras med standarder för att en anläggning skall uppfylla en god elsäkerhetsteknisk praxis nämnt i t.ex. ELSÄK-FS 2022:1. Numera är många gånger standarder framtagna internationellt och sedan utgivna av t.ex. SEK Svensk Elstandard. Utnyttjade av standarder är mestadels frivilligt men dessa ligger till grund för det som kan betraktas som god elsäkerhetsteknisk praxis, vilket normalt innebär att säkerhetsnivån sätts av svensk standard såvida inte lagstiftningen ställer ett högre krav.

För detta projekt är närmast SS-EN 50522¹⁷ aktuell även om andra standarder kan ligga till grund för arbetet. I SS-EN 50522 är det steg- och beröringsspänning som behandlas och inte spänningar som lågspänningsanläggningar kan utsättas för. I princip kommer dessa anläggningar att utsättas för spänningar kopplade till tillåtna beröringsspänningar.

Enligt nu gällande ELSÄK-FS 2022:1 så är det i princip endast en förutsättning som styr tillåtna beröringsspänningar och det är att ett jordfel fränkopplas inom 0,5 s. I SS-EN 50522 däremot kan man ta hänsyn till en fränkopplingstid som är kortare än 0,5 s så att en tillåten beröringsspänning kan vara högre än den som gäller för 0,5 s. Vid en kortare fränkopplingstid kommer alltså en högre beröringsspänning att kunna tillåtas. Det leder därmed till att anläggningar för lågspänning också kan komma att utsättas för en högre spänning.

2.4 KRAV VID BERÖRINGSSPÄNNINGSMÄTNINGAR

Vid en beröringsspänningsmätning gäller de krav som finns i ELSÄK-FS 2022:1 samt för friledningarna även fordringar¹⁸ enligt SS-EN 50341-2-18¹⁹. I både föreskriften och standarden²⁰ ställs samma krav att vid

¹⁶ EBR Viltstängsel - IN 055:99.

¹⁷ SS-EN 50522 utg 2:2022.

¹⁸ Följande begrepp brukar tillämpas för att särskilja standard och lagstiftning: "krav" kallas sådant som ställs av lagstiftning och "fordring" för sådant som ställs av svensk standard.

¹⁹ SS-EN 50341-2-18, utg 2:2023, Elektriska friledningar över 1 kV (AC) – Del 2-18: Svensk normativ bilaga, 2023-09-20.

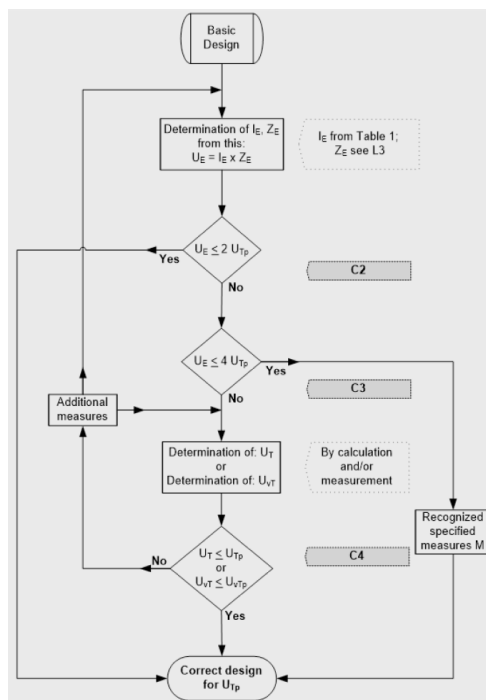
²⁰ SS-EN 50341-2-18, 6.4.2 Touch voltage limits at different locations.

beröringsspanningsmätning med $1\ 000\ \Omega$ får inte spänningen överstiga $220\ V$ ²¹. Tilläggsresistanser är inte tillämpligt för direktjordade anläggningar enligt föreskrifterna (se rådets sista del för 5 kap. 7 §), vilket är kopplat till den "särskilda faran", dvs att förekommande spänningar ska vara utjämnade och inte överstiga $220\ V$. I både föreskriften²² och standarden²³ anges att jordslutningar skall fränkopplas inom $0,5\ s$.

2.4.1 Beröringsspanningskrav enligt SS-EN 50522

För framtida ändring av föreskrifter, relaterat till beröringsspanningar, är det troligt att dessa kommer att grundas på de fordringar som finns i SS-EN 50522. I detta avsnitt beskrivs hur dessa fordringar är uppsatta.

För att bestämma om ett jordningssystem anses säkert ur ett beröringsspanningsperspektiv kan man utgå från **Figur 3**²⁴.



Figur 3: Utformning av jordningssystem, om de inte ingår i ett utbrett jordsystem, med hänsyn till tillåten beröringsspanning U_{Tp} genom kontroll av jordpotentialstegring U_E eller beröringsspanningen U_T och utan hänsyn till överförd potential.

Nedan följer en enkel beskrivning av hur **Figur 3** kan användas under förutsättning att vi antar att en tillåten beröringsspanning är $U_{Tp} = 655\ V$ (motsvarar $t_f = 0,1\ s$ i **Tabell 1**) och att den spänningssättande strömmen är $1\ kA$.

²¹ SS-EN 50522, utgåva 1, *Starkströmsanläggningar med nominell spänning överstigande 1 kV AC – Jordning*, 2011-03-09, Bilaga B Tabell B.3.

²² ELSÄK-FS 2022:1, 5 kap., 4 §.

²³ SS-EN 50341-2-18, 6.4.1 Permissible values for touch voltages, SE.1.

²⁴ SS-EN 50522, Figure 9.

1. $U_E \leq 2U_{Tp}$.
Anläggningen är godkänd om $U_E \leq 1\,310\text{ V}$. Detta motsvarar en jordtagsimpedans $Z_E = 0,655\ \Omega$. Så låga jordtagsimpedanser är mycket ovanliga i Sverige förutom möjligtvis i stationer men då är den spänningssättande strömmen betydligt högre. Detta krav uppfylls alltså mycket sällan i Sverige.
2. $U_E \leq 4U_{Tp}$.
Lika punkt 1 så motsvarar det en jordtagsimpedans på $1,31\ \Omega$ och även det är ovanligt i Sverige. Detta krav uppfylls alltså mycket sällan i Sverige.
3. Bestäm U_T och U_{vT} genom beräkning eller mätning.
4. Bestäm U_{Tp} från **Figur 1** eller **Tabell 1** och bestäm U_{vTp} utifrån aktuella tilläggsresistanser. (se avsnitt 1).
5. Om uppmätt (eller beräknat) U_T eller U_{vT} understiger dessa värden så är anläggningen rätt utformad.

Detta leder till att U_{vT} (som påverkar anläggningar) kan anta höga värden även om U_T underskrider 655 V i detta exempel.

3 Beskrivning av förslag på nytt krav i föreskrift

Uppdraget går ut på att värdera konsekvensen av att anpassa texten i ELSÄK-FS 2022:1, 5 kap, 7 §, sista stycket, som i dagsläget lyder,

"I högspänningsanläggningar med jordslutningsströmmar överstigande 500 A, kan betryggande säkerhet anses föreligga om förhöjda markpotentialer till följd av jordslutningsströmmen är utjämnade och förekommande spänningar inte överstiger 220 V vid en mätresistans om 1 kOhm."

till något som möjliggör högre beröringsspanning, alternativt "förekommande spänning", för kortare fränkopplingstid än 0,5 sekunder, i enlighet med den blå kurvan i **Figur 1**. Om det bedöms som alltför oprecist och därför olämpligt med en kurva i föreskriften, kan istället ett tabellformat väljas, till exempel enligt **Tabell 1**.

Tabell 1: Tillåten beröringsspanning som funktion av feltiden, från EN 50522-2022

Table B.4 — Calculated values of the permissible touch voltage U_{Tp} as a function of the fault duration t_f (values of U_{Tp} are rounded to 5 V)

Fault duration t_f s	Permissible touch voltage U_{Tp} V
0,05	725
0,10	655
0,20	525
0,50	225
1,00	115
2,00	95
5,00	85
10,00	85

Den önskade föreskriftstexten skulle kunna lyda enligt nedan, där de införda ändringarna markerats med fetstil.

*I högspänningsanläggningar med jordslutningsströmmar överstigande 500 A, kan betryggande säkerhet anses föreligga om förhöjda markpotentialer till följd av jordslutningsströmmen är utjämnade och förekommande spänningar, **för respektive maximal felbortkopplingstid**, inte överstiger **de i Tabell 1 angivna spänningarna**, vid en mätresistans om 1 kOhm."*

Notera att föreskriften talar om "förekommande spänningar", medan standarden och kurvan talar om beröringsspanning, dvs spänningsvärdet i den utsatta punkten vid en belastning om 1 kΩ.

Ett annat sätt att uppdatera föreskriften är att hänvisa till standarden, EN 50522-2022, Figur 8 – Permissible touch voltage, eller till **Tabell 1**, från samma föreskrift.

Notera att ELSÄK-FS 2022:1 5 kap. 4 §: *"I högspänningsanläggningar med jordslutningsströmmar överstigande 500 A ska jordslutningar fränkopplas inom 0,5 s."* inte är föremål för omvärdering. Det är således endast för felbortkopplingstider

kortare än 0,5 s, som kurvan eller tabellen i SS-EN 50522 utg 2:2022, skulle kunna tillämpas.

4 Historiskt perspektiv

Störningar från kraftnäten på omgivningen uppmärksammades tidigast i telenäten. Främst gällde det de inducerade ljudstörningarna som härrör från övertoner i de kontinuerliga fasströmmarna. Till stor del bestod telenätet av enkelledningar med en tråd och jorden som återledare. De byttes ut av Telegrafverket (bytte namn till Televerket 1953) och tvåtrådsledningen infördes. Både ljudstörningskänsligheten och överhörningen minskade därmed drastiskt.

De spänningar, som alstrades i telenäten genom felströmmar på kraftledningar var små och förekom sällan. Kraftnätets kortslutningseffekter var små och dubbla jordfel var i de fallen orsaken. Högspänningsnäten var spoljordade vilket begränsade jordfelsströmmarna.

Mer omfattande mätningar av störningar från kraftledningar kom i mitten av 1930-talet. Man hade funnit att den ömsesidiga induktansen mellan ledningar var större i Sverige än på Kontinenten. Mätningar i Skillingaryd visade att högre markresistivitet var orsaken. Störningar från kraftledningar som påverkar såväl induktans som markpotentialer har fortsatt aktualitet.

Kring 1950 baserades den svenska elkraftförsörjningen på vattenkraft. Varje kraftverk hade måttlig effekt och de låg långt från varandra och långt från belastningscentra, de flesta kraftverken var lokaliserade till Norrland medan kraften transporterades till belastningscentra i Mellan- och Sydsverige.

Stabilitet och spänningsfall blev huvudproblem. För att minska överföringsimpedansen infördes multipelledare och seriekondensatorer i kraftledningarna och man valde låga reaktanser i transformatorerna och generatorerna. Direktjordad nollpunkt infördes för näten med 130 kV och högre spänningar. Man kunde då använda sparkopplade transformatorer mellan dessa spänningar.

Detta bidrog till att nollföljdsströmmarna vid jordfel på kraftledningarna ökade och orsakade överspänningar i kringliggande telenät. Nät tillhörande Televerket och Statens Järnvägar drabbades och dessutom påverkades lågspänningsnät för elkraftdistribution. Ett samarbete startade mellan Televerket, Statens Järnvägar och kraftbolagen genom dess samarbetsorganisation Centrala Driftledningen (CDL)²⁵. Det ledde så småningom till att Telestörningsnämnden bildades 1960.

En överenskommelse slöts, där kraftföretagen lovade att minska sina störningar till acceptabla nivåer. I de fall åtgärder på tele- eller lågspänningssidan var enklare utfördes sådana av dessa nätägare och bekostades av kraftföretaget.

Länge räknade man i alla fall med att felströmmarna inte skulle bli större än 30 kA. Därför skulle man kunna fortsätta att dimensionera ställverken på normalt sätt och inhandla apparater som var beprövade. Jordslutningsströmmarna skulle fortsätta att kräva skyddsåtgärder på tele- och lågspänningsnät, men i stort sett var de acceptabla.

²⁵ Allt går ju med elektricitet - Telestörningsnämnden 60 år, Telestörningsnämnden 2020.

Den tekniska utvecklingen inom telekommunikationsområdet har betydligt minskat problemen för telenäten med störningar från kraftnäten.

4.1 INDUKTION

Till en början var inducerade spänningar i Televerkets och SJ:s teleledningar från jordslutningsströmmar i kraftledningar det största problemet. Induktionen i teleledningarna bestämdes efter mätningar eller beräkningar grundade på kartmaterial och felströmsberäkningar. Beräkningarna och åtgärderna utfördes av Televerket respektive SJ och bekostades av kraftsidan. Den vanligaste och billigaste lösningen var att sätta in överspänningsskydd i teleledningarna. Även stora lågspänningsdistributionsnät kunde utsättas för stark induktion. Den höga resistiviteten i mark och berggrund gör den induktiva kopplingen ovanligt stark i stora delar av Sverige. Samma egenskap gör markpotentialerna extra höga och sprider sig till ett större område ut från kraftledning/station vid jordfel.

4.2 MARKPOTENTIALER

Vid jordfel i en transformatorstation uppstod en potentialhöjning av stationsjorden relativt omgivande mark. Beröringsspänningar uppstod mellan hand och fot när man berörde ställverksstål och stod på marken eller tog i stängslet runt ställverket. Stegspänningar kunde också förekomma mellan fötterna.

Ofta blev påkänningen på isolationen på inkommande teleförbindelser in till stationerna för hög och överspänningsskydd måste sättas in på teleledningen. Ibland var potentialen så hög att många skydd måste fördelas på ledningen nära stationen, men metoden krävde ett minimiavstånd mellan skydden. Senare kunde sådan teleförbindelse upprätthållas med radiolänk.

Även utanför transformatorstationerna och nära kraftledningsstolparna kom markpotentialen att höjas vid jordfel. Potentialen varierade inom området för närliggande lågspänningsdistributionsnät och därmed spänningen till PEN-ledarens potential. Risk för spänningar mellan mark och PEN-ledare uppstod; beröringsspänningar. Första åtgärden var att försöka ändra stations- respektive kraftledningsjordtagen så att markpotentialen utjämnades. Andra alternativet var att dela upp distributionsnätet i två eller flera delar, så att de högsta potentialskillnaderna inom varje nät blev godtagbara.

4.3 VATTENFALLS UTREDNING P_K-71²⁶

Den utformning som storkraftnätet hade under perioden fram till och med 1960-talet var tekniskt och ekonomiskt nära optimal. I slutet av perioden började man ana att en förändring av förhållandena var på gång. Den framtida belastningstillväxten verkade bli större än enligt tidigare prognoser. Den hade visserligen varit cirka 7% per år, med en fördubbling varje decennium, under lång tid, men man hade väntat sig att tillväxten skulle mattas av.

²⁶ Ökande kortslutningseffekt i 400-70 kV näten. Problematik och åtgärder. Slutrapport från P_K-71 December 1973, Vattenfalls blåvita serie 73.1S, ISBN 91-7186-002-9

Elkraftbranschen bedömde att det totala energibehovet skulle öka med 2% per år 1975 – 1990 och att det sedan skulle bli en nolltillväxt. För elen förutsåg man för samma period en ökning med 6% per år, så att andelen år 2000 skulle bli 50% av energikonsumtionen.

Behovet skulle mötas med kärnkraft lokaliserade närmare höglastområdena. Aggregat- och stationsstorlekarna skulle bli större än vad man tidigare trott. Säkerhet och miljö talade för ett fåtal stationslägen.

Om nätutformningen inte förändrades skulle felströmmarna på vissa håll kunna öka till 70 kA.

I december 1973 presenterade Vattenfall en utredning med förslag till förändringar i nätet för att motverka problemen. Bland förslagen fanns "Metoder att begränsa jordfelsströmmarna", som genom att öka reaktanser och/eller behålla nollpunkten isolerad på ett antal transformatorer öka nollföljdsimpedansen.

4.3.1 Uppföljande studie 1990²⁷

Med oljekrisen på 1970-talet dämpades de ekonomiska konjunkturerna och därmed energiåtgången. Den uppföljande studien konstaterade att beslutet om kärnkraftsavveckling dessutom försköt konsumtionen till andra energislag. De trefasiga kortslutningsströmmarna år 1990 var lägre än de tidigare befarade och förväntades gälla även i framtiden.

"Stegringen av de enfasiga jordfelsströmmarna inger problem. Med hänsyn till de speciella jordningsbetingelserna i Sverige angavs i P_k-71-utredningen ett övre gränsvärde på 25 kA för 130 -220 kV- systemen för att inte alltför höga extrakostnader avseende tele- och lågspänningsnät skulle uppstå." "Man kan nu konstatera att man inte lyckats följa dessa intentioner i tillräcklig omfattning". "En åtgärd av administrativ art är att fastställa att reduktionen av jordfelsströmmen måste få större betydelse vid den övergripande långsiktiga planeringen."

4.4 LAGAR, FÖRESKRIFTER, M.M.

De grundläggande bestämmelserna om ansvaret för skador till följd av elektrisk ström återfinns i den s.k., ellagen från år 1902 (med ändringar). 1902 års ellag hade i första utgåvan 15 paragrafer och i bl.a. 4 § fastställdes principen om strikt ansvar. Om någon skadas av elektrisk ström är det i princip innehavaren av elanläggningen som blir skadeståndsskyldig, oavsett vem som varit vållande till skadan, med undantag av lågspänningsanläggningar inomhus. 5 § föreskriver skyldighet att skydda befintliga anläggningar när man uppför en ny elanläggning.

Dessutom finns allmänna lagar om skyldigheter som kan ha bäring på elsäkerhet, om t.ex. skadestånd och att vidta skyddsåtgärder.

²⁷ Uppföljning av P_k-71 utredningen, Omarbetade riktlinjer för 400 - 70 kV näten, mars 1990, Vattenfall, ISBN 91-7186-285-4.

Redan vid ellagens tillkomst fanns i denna bemyndiganden över hur närmare bestämmelser och föreskrifter utfärdas. Mest kända är de s.k. Starkströmsföreskrifterna som kom 1904.

År 1973 efterträddes Elektriska inspektionen inom Kommerskollegium av Statens industriverk (SIND) som central förvaltningsmyndighet i dessa frågor. Med några ytterligare steg bildades Elsäkerhetsverket 1993²⁸.

1975 kom en STF-kurs: *”Störningar från högspänningsanläggningar på lågspännings- och telenät.”* Den spred kunskap om fenomenet till en större krets. 1980 utgavs *”Störningsbok – Starkströmsanläggningars störande inverkan på andra anläggningar”*, framtagen av Telestörningsnämnden och utgiven av Svenska Elverksföreningen²⁹.

4.5 MARKPOTENTIALER, NUTID

Markresistiviteten är hög i Fennoskandia jämfört med Kontinenten. Det gör att ställverkskonstruktörer ställs inför något annorlunda problem jämfört med söderut. Liknande ställverk får mycket högre potential för samma felström här. För att klara spänningssättningen kan inte hela felströmmen ledas till jord lokalt vid stationen. Den måste spridas ut över ett större område för att gradienten skall bli mindre i stationens omgivning och i kringliggande lågspänningsnät. Att sprida ut felströmmen till jord över ett större område är det största problemet vid ställverkskonstruktion.

Möjliga platser för att ”dränera” felströmmen finns längs ledningarnas inledningssträckor till stationen. Genom magnetisk koppling till felströmmen i ledningen, får jordlinor i topparna och marken hjälp att föra ut strömmen från stationen. Aluminiumtopplinor kan skicka 60% av felströmmen i retur till ”sändande” änden av kraftledningen i tillägg till vad höjningen av stationspotentialen leder ut till ledningsjordtagen.

En jordkabelns skärm och följelina kan föra tillbaka nästan hela felströmmen som kabeln leder in till stationen. Där jordkabeln övergår i friledning måste en stor del av returströmmen tas om hand.

I storstadsområden med sammanhängande kabelnät, även för de högsta spänningarna, kommer nästan all jordfelsström att gå tillbaka till omgivande stationer. Returströmmen kommer att fördelas över området, där en del leds via mark, men en betydande del leds via kabelskärmar och jordledare ut till området där kablarna övergår i friledningar. Potentialstegringarna vid jordtagen på de platser där jordkabeln övergår i friledning blir kritiska.

²⁸ <https://www.elsakerhetsverket.se/om-oss/vart-uppdrag/elsakerhetsverkets-historia/>

²⁹ *Störningsbok - Starkströmsanläggningars störande inverkan på andra anläggningar*, Svenska Elverksföreningen, 1980, ISBN 91-7622-008-7
(<https://www.svk.se/siteassets/aktorsportalen/entreprenorer-i-elnatet/telestorningsnamnden/utbildningsmaterial/storningsbok.pdf>)

I storstäderna kan kabelnätens förmåga att sprida ut strömmen till jord kompensera för den ökande jordslutningsström som kan förutses. Närmare mindre samhällen ökar problemen med ökande felströmmar.

När man lyckats med att sprida ut felströmmen tillräckligt blir potentialkurvan plattare och spänningsgradienterna i lågspänningsnät utanför stationen mindre. Något lågspänningsnät måste kanske delas upp för att spänningen mellan PEN-ledaren och jord skall bli acceptabel.

Den utjämnade potentialen i stationsområdet gör att någon detaljerad beräkning för att konstruera marklinenätet i stationen inte är nödvändig. Steg- och beröringsspänningarna uppmäts och kan vid behov minskas med ett lager grus.

Det uppmärksammades i början av 1900-talet att teleförbindelser in till transformatorstationer ibland utsattes för alltför höga spänningar i samband med jordfel. Skador på teleledningar var betydande fortfarande på 70-talet. Det är troligt att apparater anslutna till lågspänningsnätet också skadades, de flesta dock av åsköverspänningen och inte av spänningar härrörande från den efterföljande kraftfrekventa jordfelsströmmen. Några andra exempel där lågspänningsisolation utsatts för otillåtet hög spänning känner vi inte till.

Vid mätningar för Vattenfall och Svenska kraftnät har konsekvent både mätvärden för belastade, U_T , och obelastade, U_{VT} , spänningsvärden dokumenterats. Vid utvärderingen av de till felström omräknade siffrorna har man strikt hållit U_T som gränsvärde men inte accepterat högre värde än någon kV för U_{VT} . Anledningen kan ha varit att man funnit ett godtagbart U_T -värde medan det obelastade värdet varit högt. Man har misstänkt att någon plats i närheten med ett högt U_T kan ha blivit förbisedd. Alternativt skulle en dold lågspänningsledning kunnat bli utsatt för U_{VT} .

4.6 JORDFEL

I samband med att Telestörningsnämnden bildades började man samla in information om jordfel. Informationen skall skickas till Telia³⁰ med information om:

- Felbehäftad anläggning och om möjligt felläge.
- Tidpunkt för felets inträffande.
- Orsak till jordfelet.

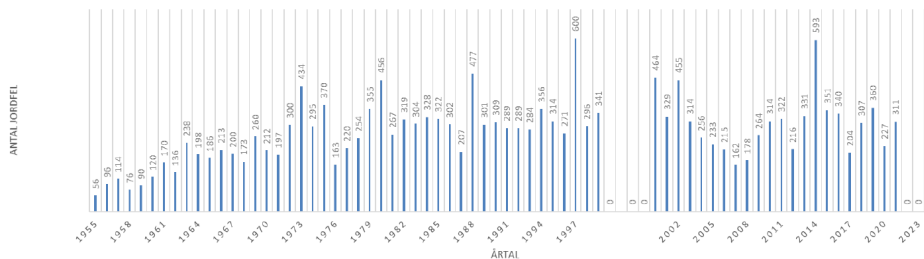
På begäran kan, då skada inträffat, nollföljdsströmmens storlek i felstället, dess varaktighet samt ytterligare uppgifter behöva rapporteras.

Statistik från jordfel finns från 1963³¹. Det samlas även in statistik om kostnader för skador.

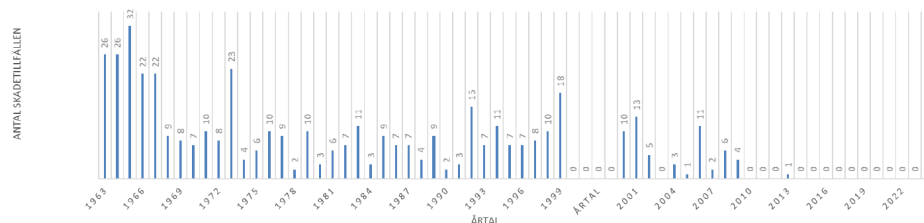
³⁰ Meddelande nr 10 - Rapportering om jordfel på direktjordade starkströmsanläggningar med högre spänning än 100 kV, Telestörningsnämnden, 2020-01-29.

³¹ Område Jordfelsrapporter, <https://www.svk.se/aktorsportalen/entreprenorerer-ielnatet/telestorningsnamnden/>, Telestörningsnämnden.

Antalet jordfel fördelade på årtal³² presenteras i **Figur 4** och antal skadetillfällen under motsvarande tid presenteras i **Figur 5**.



Figur 4: Antal jordfel för respektive år.



Figur 5: Antal skadetillfällen i samband med jordfel för respektive år.

Kostnaden för dessa jordfel sammanställd per 5-årsperiod visas i **Tabell 2**.

Tabell 2: Statistik över kostnaden för reparationer efter ett jordfel.

Årsperiod	Skadekostnad Medelv./år	Årsperiod	Skadekostnad Medelv./år
1960-1964	28,5 kkr	1965-1969	58,5 kkr
1970-1974	102,9 kkr	1975-1979	135,9 kkr
1980-1984	390,3 kkr	1985-1989	168,0 kkr
1990-1994	213,1 kkr	1995-1999	719,3 kkr
2000-2004	111,5 kkr	2005-2009	244,5 kkr

Efter 2009 har endast ett år med kostnader rapporterats. År 2013 skedde ett kabelfel i en tunnel under Stockholm med en brand som följd³³. Felet hade uppstått i en 220 kV kabelskarv som sedan lett till en brand som i sin tur ledde till skador på telekablar till en kostnad på 9 813 kkr. Även om det var ett jordfel så är det inte den typ av fel som leder till skador i direkt anslutning till jordfelet som beaktas i denna rapport.

Det kan på goda grunder antas att kostnaden, presenterad i **Tabell 2**, huvudsakligen är relaterad till skador på telenätet.

³² Jordfelsstatistik-2021.pdf, <https://www.svk.se/siteassets/aktorsportalen/entreprenorer-i-elnetat/telestorningsnamnden/jordfelsrapporter/jordfelsstatistik-2021.pdf>, Telestörningsnämnden.

³³ Elektronisk kommunikation och branden i en försörjningstunnel - Utredning av konsekvenser och utvecklingsmöjligheter, Post- och telestyrelsen, PTS-ER-2014:20.

5 Bortkoppling av jordfel på ledning

Eftersom tillåten spänningssättning, enligt standarden, är beroende av feltiden vid jordslutning i de direktjordade näten är det viktigt att beskriva vilka felbortkopplingstider som gäller i dag. Nedan beskrivs felbortkopplingssekvenserna för både normal felbortkoppling och reservbortkoppling. Vid reservbortkoppling antas att en komponent i felbortkopplingskedjan är felbehäftad.

5.1 GENERELLA FELBORTKOPPLINGSSEKVENSER

Det förutsätts att felbortkopplingssystemen i stamnätet (220 och 400 kV) har redundanta, av varandra oberoende, felbortkopplingssystem (sub 1 och sub 2). Momentan felbortkoppling³⁴ för jordslutningar säkerställs genom samverkande ledningsskydd, med kommunikation mellan ledningens ändpunkter.

Även i de direktjordade regionnäten (110 och 130 kV) förekommer i många fall skyddssystem med redundanta lokala skydd. Dock finns det ledningar utan lokal redundans och utan samverkan. För att säkerställa selektiv bortkoppling av jordslutning måste jordfel på en viss del av ledningen ha fördröjd skyddsfunktion. Vidare används fjärreserv, med tidsfördröjning, för att säkerställa att jordfel bortkopplas. Detta innebär att om en komponent i felbortkopplingskedjan är felbehäftad kommer felbortkoppling att ske i angränsande stationer. **Tabell 3** visar en sammanställning av nuvarande felbortkopplingstider i de direktjordade högspänningssystemen, vid jordfel, med låg resistans, på ledning. I **Tabell 4** visas motsvarande felbortkopplingstider för jordfel med resistans i felstället, som ger en jordslutningsström i området 80-1500 A.

Tabell 3: Felbortkopplingstider för impedanslöst jordfel på ledning i de direktjordade systemen

Spänningsnivå	Skyddsutformning	Relätid normal	Relätid reserv	Brytartid	Total ordinarie	Total reserv
400 kV	Parallella sub 1 sub 2	40 ms	170 ms (BFS ³⁵)	40 - 60 ms (2- 3 perioder)	80 - 100 ms	250 ms
220 kV	Parallella sub 1 sub 2	40 ms	170 ms (BFS)	40 - 60 ms (2- 3 perioder)	80 - 100 ms	250 ms
130/110 kV	Parallella sub 1 sub 2	40 ms	170 ms (BFS)	40 - 60 ms (2- 3 perioder)	80 - 100 ms	250 ms
130/110 kV	Endast en sub (fjärreserv)	40 - 400 ms	400 - 800 ms (fjärreserv)	40 - 60 ms (2- 3 perioder)	80 - 460 ms	460 - 860 ms

³⁴ Med "momentan felbortkoppling" menas felbortkoppling utan avsiktlig tidsfördröjning.

³⁵ BFS = Brytarfelsskyddsfunktion

Tabell 4: Felbortkopplingstider för jordfel med hög resistans, på ledning i de direktjordade systemen, med jordfelsström om cirka 80-1500 A.

Spännings-nivå	Skydds-utformning	Relätid normal	Relätid reserv	Brytartid	Total ordinarie	Total reserv
400 kV	Parallella sub 1 sub 2	1.2 - 5.8 s	1.2 - 5.8 s	40 - 60 ms (2- 3 perioder)	1.2 - 5.8 s	1.2 - 5.8 s
220 kV	Parallella sub 1 sub 2	1.2 - 5.8 s	1.2 - 5.8 s	40 - 60 ms (2- 3 perioder)	1.2 - 5.8 s	1.2 - 5.8 s
130/110 kV	Parallella sub 1 sub 2	1,2 s	-	40 - 60 ms (2- 3 perioder)	1,2 s	-
130/110 kV	Endast en sub (fjärreserv)	1,2 s	-	40 - 60 ms (2- 3 perioder)	1,2 s	-

Baserat på statistik från ENTSO-E Nordic³⁶, kan felfrekvensen för skydd och kontrollutrustning uppskattas till ca 1,5 fel per 100 objekt/år. En del av dessa kan leda till reservskyddsfunktion med förlängd felbortkopplingstid. Det är svårt att avgöra hur stor risk för reservbortkoppling med förlängd feltid som kan vara kritisk för skador på utrustning.

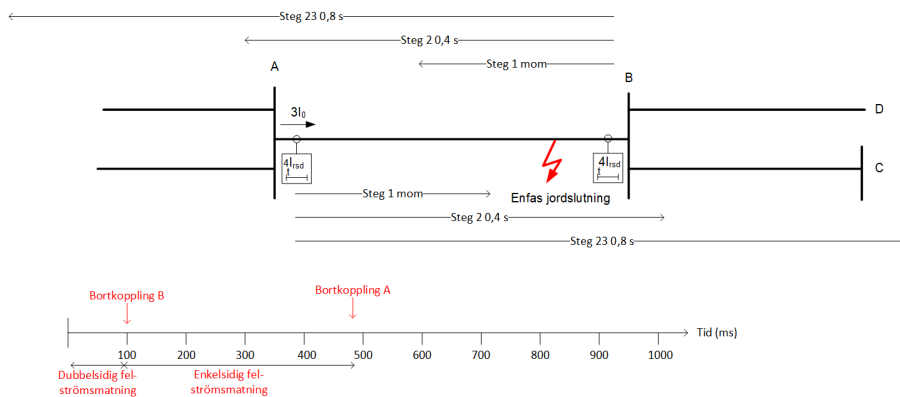
5.2 SPECIELLT INTRESSANTA FELBORTKOPPLINGSSEKVENSER

Den totala feltiden vid jordfel är förutom relätid och brytartid även beroende av aktuell felbortkopplingssekvens. Detta gäller främst för 110 och 130 kV nät med ledningsskydd utan samverkan mellan skydden i ledningen ändpunkter. Nedan ges några exempel på felbortkopplingssekvenser och deras påverkan på total feltid och felströmsnivå under felsekvensen.

5.2.1 130 kV utan kommunikation – ordinarie bortkoppling

Vid jordfel inom ca 20 % av ledningslängden från vardera ledningsändan, fås fördröjd felbortkoppling från den bortre ledningsändan, se **Figur 6**.

³⁶ 2022_Nordic_and_Baltic_Grid_Disturbance_Statistics_FOR_PUBLISHING.pdf, https://www.entsoe.eu/Documents/SOC%20documents/Nordic/2023/2022_Nordic_and_Baltic_Grid_Disturbance_Statistics_FOR_PUBLISHING.pdf, Nordic (entsoe.eu)

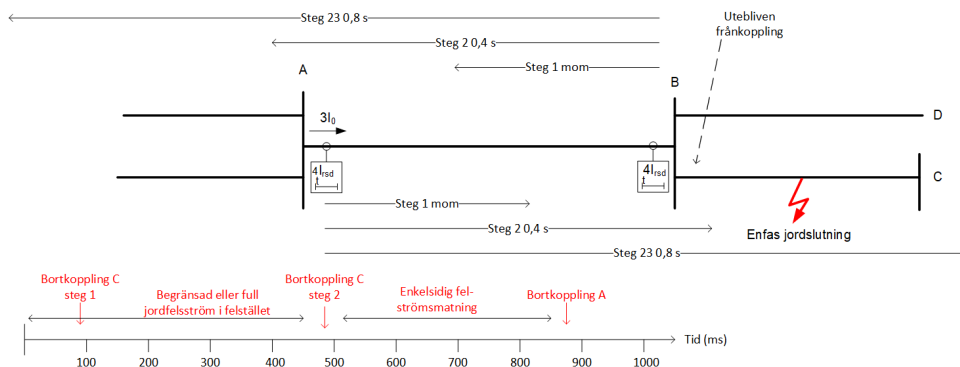


Figur 6: Felbortkoppling utan kommunikation och fel nära ena ledningsänden.

Det skall poängteras att den totala jordfelsströmmen reduceras efter felbortkoppling närmast jordfelet.

5.2.2 130 kV utan kommunikation – reserv i angränsande station

Vid jordfel på en ledning ut från angränsande samlingskena där felbortkoppling uteblir används fjärrreserv (remote back-up), se **Figur 7**.

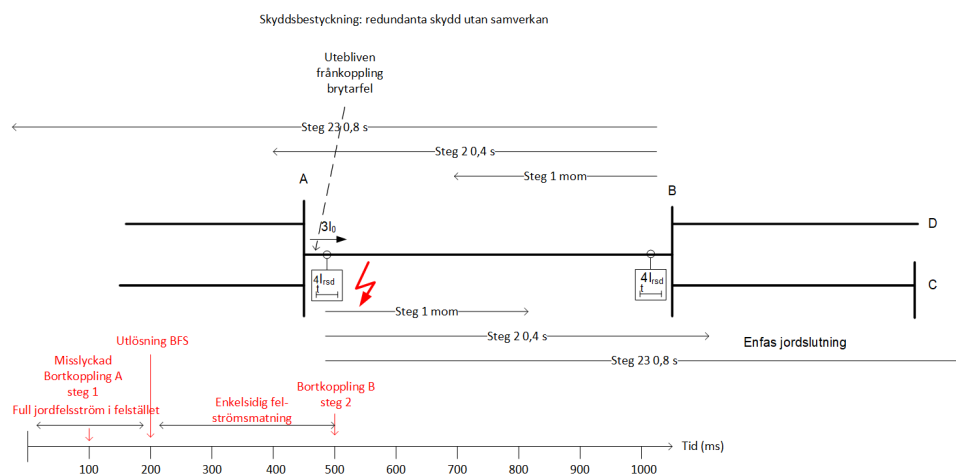


Figur 7: Reservbortkoppling av jordfel från "bakomliggande" station.

Det skall observeras att reservbortkoppling sker av samtliga ledningar till station B i **Figur 10**. Felströmmens storlek varierar under de olika skedena under den totala feltiden. Maximal felström fås dock troligen under de första 100 ms.

5.2.3 130 kV lokal reserv och brytarfel

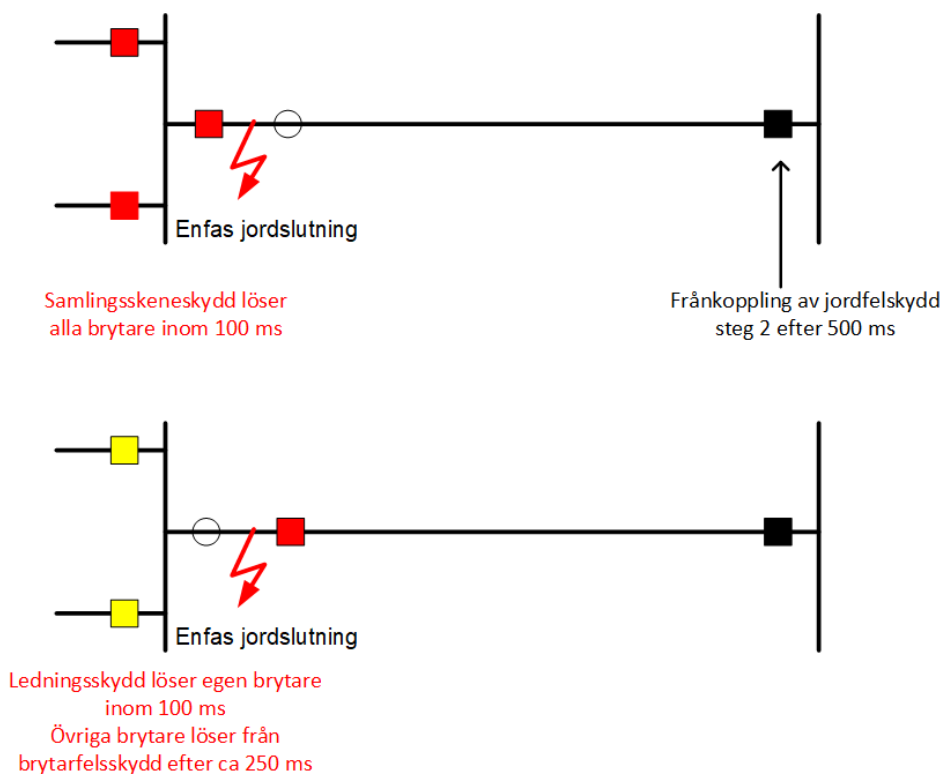
Vid brytarfel med lokal reserv i form av brytarfelskydd fås en felbortkopplingstid om ca 250 ms. Under denna tid fås full jordfelsström i felpunkten. Efter detta kommer felström endast att flyta från ledningens fjärrände med reducerad jordfelsström, förutsatt ett närbeläget fel och ingen kommunikation mellan ledningens ändpunkter, se **Figur 8**.



Figur 8: Reservbortkoppling av jordfel via brytarfölskydd.

5.2.4 130 kV fel mellan strömtransformator och brytare

Vid fel mellan strömtransformator och brytare är felbortkopplingen beroende av strömtransformatorns placering i förhållande till ledningsbrytaren, se **Figur 9**. Det är ett känt problem att jordfel mellan strömtransformator och ledningsbrytare ger en felbortkopplingstid som är längre än 100 ms.



Figur 9: Fel mellan strömtransformator och brytare.

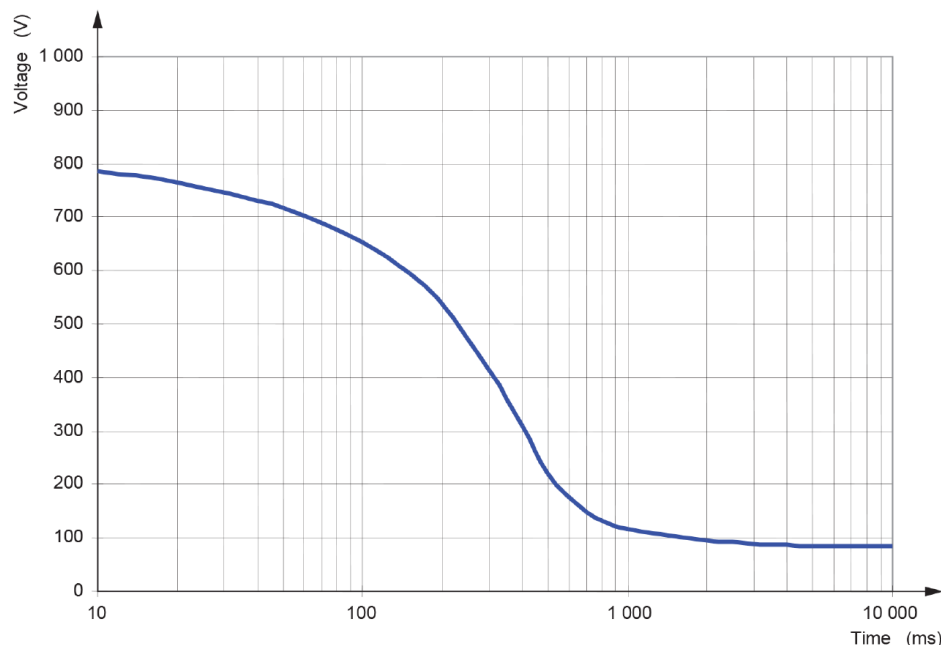
5.3 FRÅNKOPPLINGSTID OCH SKADEVERKAN

En längre frånkopplingstid än 100 ms innebär troligen ingen ökning av spänningspåkänningen för anslutna objekt. Om man däremot får ett isolationsöverslag i en näraliggande anläggning eller apparat till följd av jordfelet, kommer jordfelet att medföra effektutveckling i det skadade objektet med ökade skador och, i värsta fall, brand.

6 Påverkan på omgivningen vid jordfel

Idag används som grund för tillåten beröringsspänning en fränkopplingstid på 0,5 s för jordfel som är inom den tid som en fränkoppling skall ske enligt ELSÄK-FS 2022-1³⁷. För stamnätet i Sverige, dvs. för 400 och 220 kV näten, sker normalt fränkoppling på kortare tid, oftast inom 0,1 – 0,2 s. För de direktjordade 130 och 110 kV näten kan längre felbortkopplingstid fås vid jordslutning. För att säkerställa kort felbortkopplingstid används kommunikation mellan reläskydden i i respektive ledningsände (se avsnitt 5.1).

Enligt gällande internationell standard, SS-EN 50522³⁸, finns det möjlighet att utnyttja denna kortare fränkopplingstid och därmed tillåta en högre beröringsspänning, se **Figur 10** och **Tabell 10**.



Figur 10: Tillåten beröringsspänning, U_{Tp} , som funktion av fränkopplingstid, enligt Figur 8 i SS-EN 50522, utg 2:2022.

För att kunna bedöma om en höjning av tillåten beröringsspänning skulle kunna påverka anläggningar placerade i närheten av kraftledningar och stationer bör man försöka beskriva hur denna påverkan sker vid ett jordfel samt hur detta förändras vid en höjning av beröringsspänningen.

Inledningsvis beskrivs i detta avsnitt hur en jordfelsström påverkar omgivningen. Påverkan kan vara från induktion eller markpotentialhöjning. Därefter följer en beskrivning av vad som skiljer spänningar som uppstår vid beröring (belastade spänningvärden) från spänningar som uppstår i anläggningar utan beröring (obelastade spänningvärden).

³⁷ ELSÄK-FS-2022-1, 5 kap., 4 §

³⁸ SS-EN 50522 utgåva 2.

6.1 JORDFEL OCH SYMMETRISKA KOMPONENTER

Trefasströmmar och trefasspänningar kan beskrivas med symmetriska komponenter, plusföljd, minusföljd och nollföljd. Ett helt symmetriskt trefassystem har endast plusföljdskomponenter. Impedansen gentemot minusföljdsström är densamma som impedansen gentemot plusföljdsström för alla statiska element i ett kraftsystem, såsom transformatorer, ledningar och liknande.

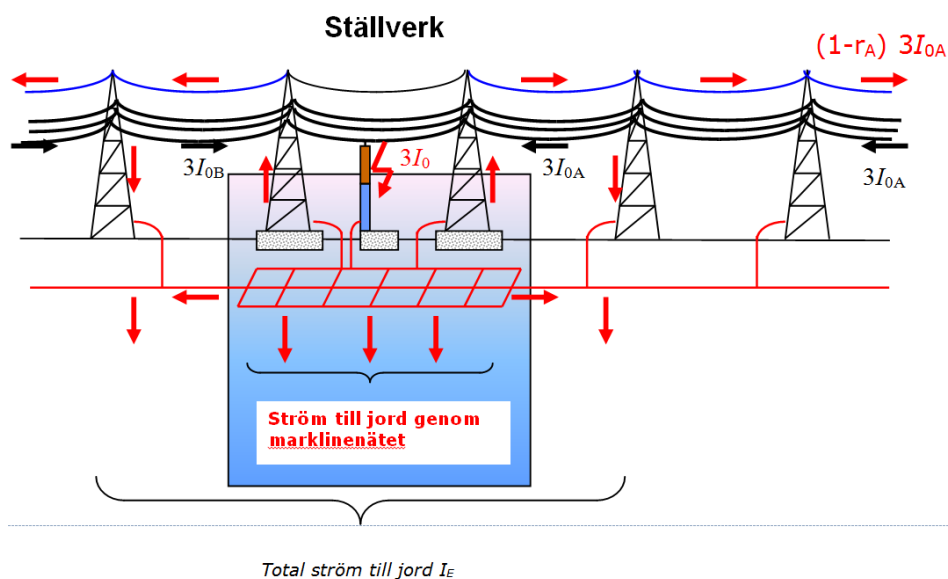
Nollföljdskomponenten har samma amplitud och samma fasläge i alla tre faserna. Nollföljdskomponenten är en tredjedel av vektorsumman av strömmarna i de tre faserna. Summaströmmen benämns därför ofta $3I_0$. Eftersom jordfelsströmmen vid ett ledningsfel är summan av de sex fasströmmarna från ledningens båda ändpunkter benämns ofta jordfelsströmmen, och dess delkomponenter, $3I_0$.

6.2 BESKRIVNING AV JORDFEL OCH DESS KONSEKVENSER

Det kan uppstå både 1-fas, 2-fas och 3-fas jordslutningar men i detta projektet betraktas endast 1-fasiga jordslutningar som normalt leder till störst jordfelsström och därmed störst konsekvenser. Om källimpedansen för nollföljd är lägre än källimpedansen för plusföljd blir 2-fas jordfelsström större än den 1-fasiga jordfelsströmmen. Detta kan förekomma vid fel nära en station med stor direktjordad transformator.

Följande är endast en mycket enkel beskrivning av fenomenet jordfel. Beräkning av jordfelsströmmens storlek sker normalt genom datorberäkningar.

Betrakta en ledning med en kopplingsstation enligt **Figur 11** och anta att det sker ett enfasigt jordfel i stationen. Principen är densamma om jordfelet skulle uppstå vid en stolpe längs en ledning. Skillnaden är att en station kan ha fler än 2 ledningar anslutna samt att jordningssystemet är mer utbrett och har en lägre jordtagsresistans än en stolpjordning.



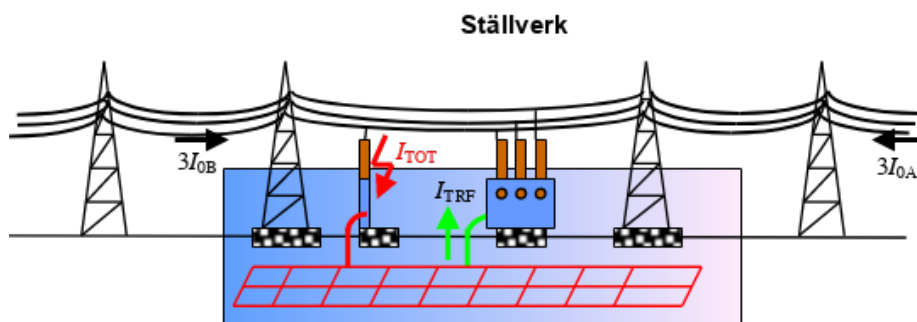
Figur 11: Förenklad beskrivning av felströmmar vid jordfel i en kopplingsstation.

Som framgår av **Figur 11** så kommer felströmmar längs fasledarna $3I_{0A}$ och $3I_{0B}$ från respektive ledning. Summan av dessa, $3I_0$, är den ström som flyter i felstället.

Som illustreras i **Figur 11** så kommer en del av felströmmen att ledas tillbaka via jordledare som går längs ledningarna såsom toppledare och genomgående markledare. Resterande ström kommer att ledas ut via jordlinesystemet till marken tillbaka till närliggande station/generator. Denna resterande ström som leds via marken tillbaka till omgivande stationer/generatorer benämns spänningssättande ström.

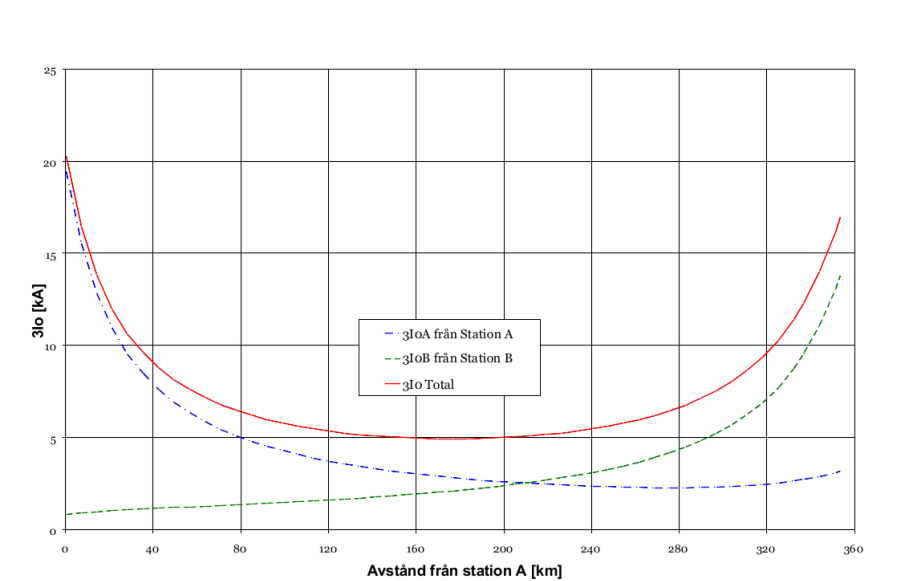
Vid fel i en transformatorstation, **Figur 12**, kommer strömmen i felstället att bestå av ström från anslutande ledningar men även ström från transformatorer i samma station. Denna ström från de lokala transformatorerna behöver man inte ta hänsyn till vid bestämning av den spänningssättande strömmen då den strömmen cirkulerar mellan jordfelet och transformatorns fasuttag och dess nollpunkt. Denna cirkulerande ström sker internt inom stationen via dess jordlinesystem och leder inte till någon påverkan på den spänningssättande strömmen. För direktjordade transformatorer t.ex. sparkopplade systemtransformatorer kan denna cirkulerande ström vara relativt hög p.g.a. den låga impedansen i kretsen.

Det bör observeras att vid fel utanför stationsområdet kommer denna cirkulerande ström genom direktjordade transformatorer att bli en del av ledningens jordfelsström $3I_0$ och kommer därmed att påverka den spänningssättande strömmen vid fel på anslutande ledningar och stationer. I detta fall, då jordfelet (I_{TOT} i **Figur 12**) sker utanför stationsområdet, kommer returströmmen till transformatorn att ledas via ledningens jordsystem samt via marken.



Figur 12: Förenklad beskrivning av felströmmar vid jordfel i en transformatorstation

När det gäller ett jordfel längs en ledning kan man betrakta modellen i **Figur 11**. Jordfelsströmmarna, $3I_0$, som kommer längs de två ledningssträckorna kommer att vara beroende av hur långt från transformatorstationen felet uppstår då impedansen i ledningen kommer att begränsa storleken på $3I_0$. I **Figur 13** illustreras hur jordfelsströmmens storlek kan varieras beroende på felläget längs en ledning.



Figur 13: Storleken på felströmmen längs en ledning mellan två stationer, A och B, beroende på felets läge.

För att uppskatta hur stor del av strömmen som leds tillbaka via toppledere etc., kan man använda Telestörningsnämndens Meddelande Nr 20³⁹ där den del av felströmmen som leds tillbaka via marken finns angiven i **Tabell 5** nedan.

Tabell 5: Del av felströmmen som leds tillbaka via marken.

Jordning av regel	Isolerad	Enskilt jordtag	Förbunden via längsgående toppledere			
			1 x Fe	2 x Fe	1 x FeAl	2 x FeAl
Typ av toppledere	-	-	1 x Fe	2 x Fe	1 x FeAl	2 x FeAl
Övergångsresistans	50 Ω	10 Ω	0 Ω	0 Ω	0 Ω	0 Ω
Andel i mark	100%	100%	95%	85%	60%	40%

Det framgår av **Tabell 5** att toppledere med lägre impedans gör att en mindre del av jordfelsströmmen går tillbaka via marken. Om man ökar antalet jordledare längs ledningen så kommer andelen av jordfelsströmmen som leds via marken att minska men den kommer inte att helt försvinna. För en kabel, med en bra skärm som är jordad i bågge ändrar, kan det antas att ca 10 % av felströmmen ändå leds tillbaka via marken⁴⁰.

I **Figur 14** illustreras den spänningssättande strömmens storlek som funktion av jordfelets läge längs ledningen på liknande sätt som i **Figur 13** med den skillnaden att en del av ledningen är utrustad med 2×FeAl toppledere och resterande del av ledningen är utrustad med 2×Fe toppledere.

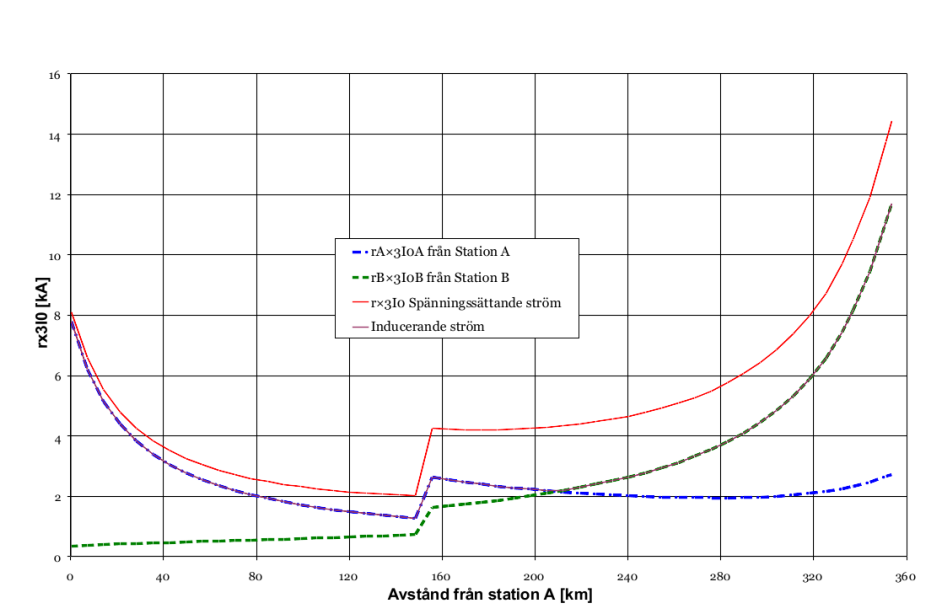
Den spänningssättande strömmen är den ström som leder till en potentialhöjning av den omgivande marken kring felstället. Det är framförallt denna potentialhöjning som kan leda till höga beröringsspänningar. Felströmmen i själva

³⁹ Meddelande Nr 20 - Riktlinje för beräkning av inducerade spänningar och markpotentialer, utgåva 5, Telestörningsnämnden, 2021-12-22.

⁴⁰ Meddelande Nr 20, överst på sid 2.

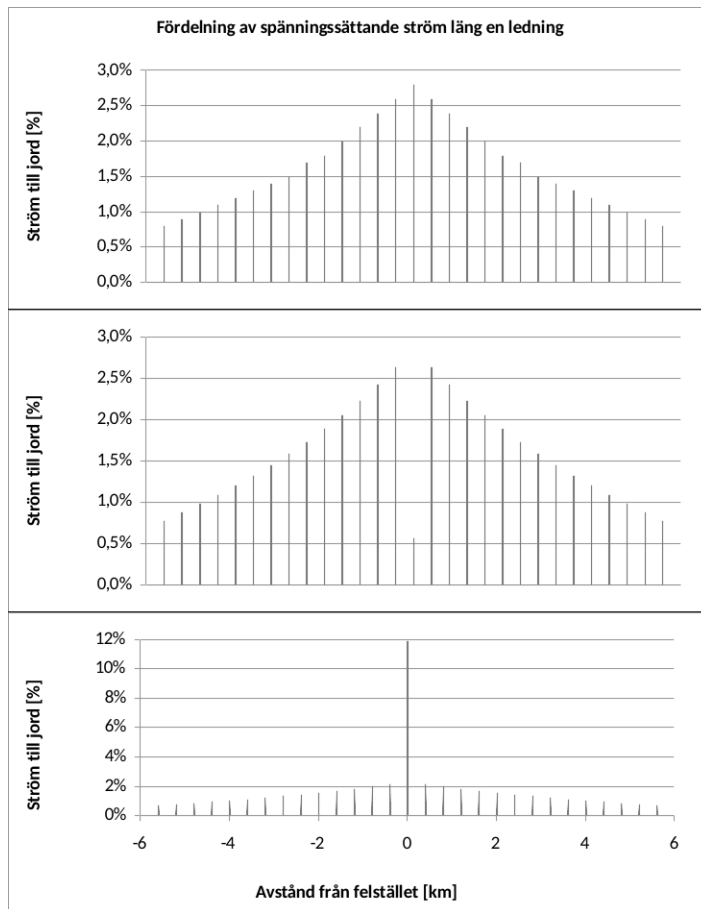
jordfelet, som leder till spänningssättning av marken, kommer från båda ledningssträckorna men däremot är det endast den ström som går i den ledningssträcka som ligger parallellt med metallstrukturer som kan ge upphov till induktion i dessa metallstrukturen.

Anläggningar bestående av ledande material såsom kablar, rörledningar, viltstängsel, etc., som ligger parallellt med kraftledningen, kommer att utsättas för induktion vid ett jordfel. Till skillnad från den spänningssättande strömmen, som består av strömmen från bägge ledningssträckorna, så kommer den inducerande strömmen endast att vara den ström som flyter längs den ena ledningssträckan och där anläggningen ligger parallellt med motsvarande ledningssträcka. I **Figur 14** visas den inducerande strömmen som den högsta strömmen utav de två ledningssträckorna.



Figur 14: Spänningssättande ström samt inducerad ström där 2×FeAl toppledare sitter på 150 km från station A och på resterande sträcka sitter det 2×Fe toppledare för ledningen i Figur 13.

Figur 15 visar hur den spänningssättande strömmen kan spridas ut mellan intilliggande stolpars jordtag då dessa är sammankopplade med toppledare. Det jordtag som har lägst resistans kommer att även leda ner mest ström i marken. Detta är illustrerat i **Figur 15** där det är samma jordtagsresistans, 20Ω , vid samtliga stolpplatser i översta figuren. I mellersta figuren har antagits att stolpen med jordfelet har ett jordtag med en resistans som är 5 ggr högre, 100Ω , än de övriga jordtagen längs ledningen. Detta leder till att den spänningssättande strömmen vid stolpen med jordfelet kommer att vara lägre än omkringliggande stolpplatser. Detta skulle kunna utnyttjas för att styra hur den spänningssättande strömmen leds ner i marken. Man kan anordna jordtag med låg jordtagsresistans vid platser som saknar omkringliggande infrastruktur som kan påverkas av en markpotentialhöjning och vice versa.



Figur 15: Den spänningsättande strömmens fördelning vid jordfel vid en stolpe där ledningen är utrustad med 2× FeAl toppledare samt separata jordtag vid varje stolpe på 20 Ω. Jordtagsresistansen vid stolpen med jordfelet har getts olika värden; 20 Ω (samma värde som för de andra stolparna, överst), 100 Ω (högre värde än för de andra stolparna, mitten), och 4 Ω (lägre värde än för de andra stolparna, nederst).

I den nedersta figuren har en jordtagsresistans på $\frac{1}{5}$ av de övriga jordtagen längs ledningen antagits. Där kan man tydligt se att den spänningsättande strömmen har ökat. Detta scenario skulle också kunna representera ett jordfel som uppstår i en station som normalt har en betydligt lägre jordtagsresistans än normala enskilda stolpjordtag. Normalt har stationen en betydligt större utbredning så den spänningsättande strömmen kan ledas ut via ett större område än vid en enskild stolpe.

6.2.1 Induktion

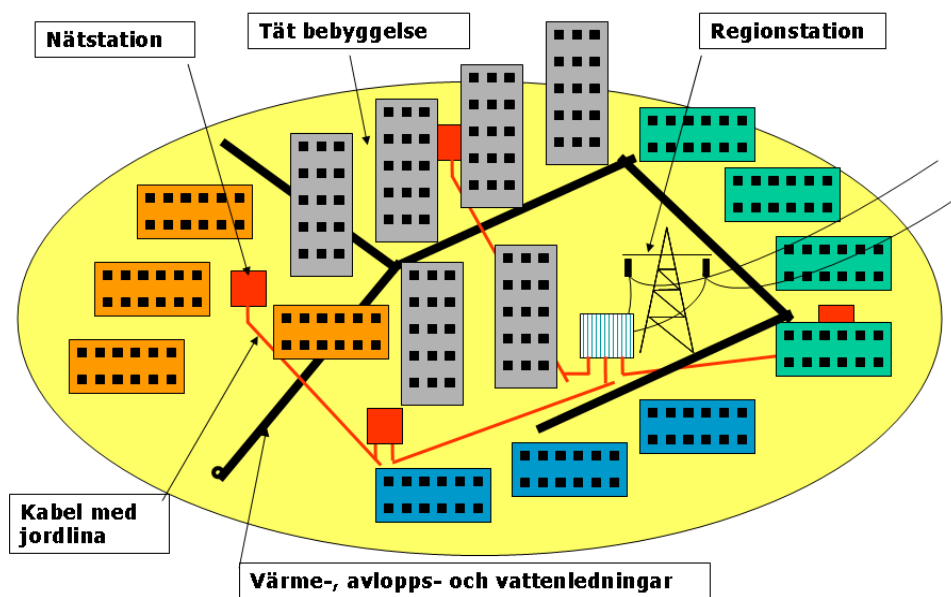
Påverkan från induktion bestäms normalt genom beräkning.

Förr i tiden bestod telefont nätet av kablar med kopparledare som var utspridda över nästan hela landet. Mycket av telefont nätet gick längs kraftledningsgator där ett jordfel kunde ge stor påverkan på telenätet p.g.a. induktion som kan uppstå. På den tiden beräknade Televerket/Skanova/Telia den induktion som kunde tänkas uppstå i deras nät och vidtog skyddsåtgärder därefter. Idag har telenätet till stor

del ersatts av optisk fiber. Telia har idag ca en halv miljon kunder där flertalet finns i storstäderna⁴¹ som leder till mindre problem.

Induktiv påverkan på dessa kopparledare i storstäder är något man normalt inte behöver ta hänsyn till då kraftöverföringen i större utsträckning sker med kablar som ger mindre påverkan samt att den allmänna infrastrukturen som finns i storstäder (kulturfaktor) leder till lägre påverkan genom den ledningsförmåga som metallstrukturer och kablar som finns förlagda i marken har, se **Figur 16**. Detta benämns utbrett jordningssystem.

Utbrett jordningssystem



Figur 16: Utbrett jordningssystem.

Utanför det utbredda jordningssystemet kan det finnas andra metallstrukturer placerade parallellt med störande kraftledningar såsom kablar och jordledare för låg- och mellanspänning, gasrör, framförallt äldre vatten och avloppsrör, som skulle kunna påverkas av induktion.

För att beräkna induktionen från en ledning med jordfel kan man utnyttja datorer men en relativt detaljerad beskrivning av manuella beräkningar finns i avsnitt 2.2 i Störningsboken⁴². En förenklad beskrivning presenterades av Bo Nyström på Telestörningsnämndens seminarium 7 november 2018⁴³ enligt följande.

Inducerad spänning:

$$U = \omega \cdot m \cdot l \cdot I$$

⁴¹ Telestörningsnämndens seminarium, 2023-11-09

⁴² Störningsbok, Starkströmsanläggningars störande inverkan på andra anläggningar, Telestörningsnämnden 1980

⁴³ Beräkningar, mätningar och skyddsåtgärder i telenät, Telestörningsnämndens seminarium 2018-11-07

Där:

$$\omega = 2\pi \cdot f \text{ vinkelhastighet [rad/s]}$$

$$f = \text{frekvensen [Hz]}$$

$$m = \text{ömsesidig induktans mellan störande och störd ledning [H]}$$

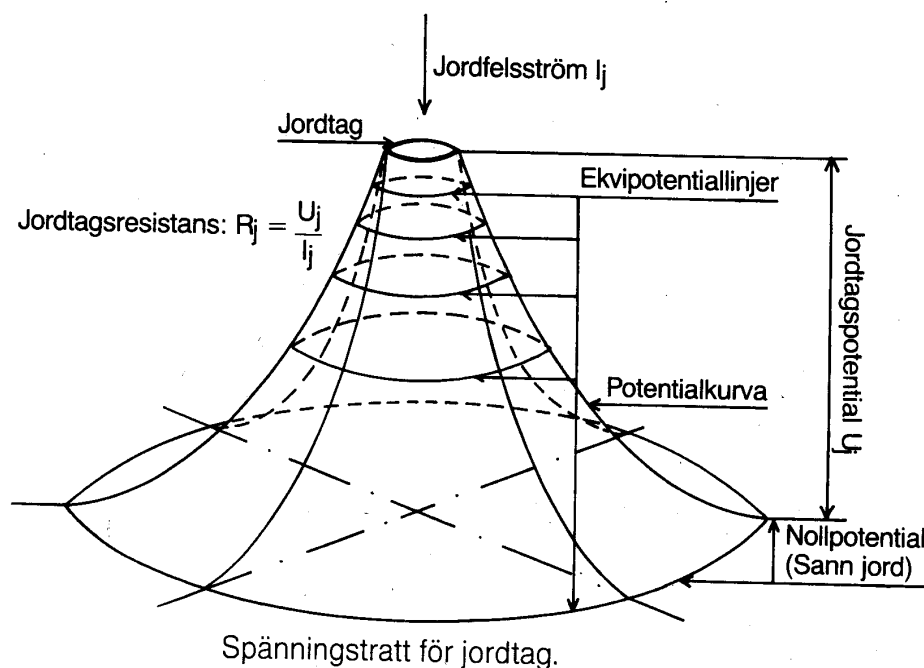
$$l = \text{parallelsträckans längd [m]}$$

$$I = \text{jordfelsströmmen (störande ström) [A]}$$

Ömsesidiga induktansen, m , minskar med ökat avstånd mellan störd och störande ledning och ökar med ökad markresistivitet. Den spänningssättande strömmens retur via marken går djupare vid en högre markresistivitet, men denna påverkan avtar med ökat avstånd mellan störd och störande ledning.

6.2.2 Spänningssättning av mark

Det är den spänningssättande strömmen, som leder till en potentialhöjning av marken kring ett jordfel. Man brukar illustrera detta som en potentialtratt enligt **Figur 17**, som ger en bra bild av problemet med potentialhöjning av marken i närheten av ett jordfel.



Figur 17: Idealiserad bild av en potentialtratt.

Förutsättningen för att modellen med potentialtratt ska gälla är att marken har en homogen markresistivitet i alla riktningar. Detta är normalt inte fallet i Sverige.

Enligt ITU-T K.107⁴⁴ kan man med en mycket enkel modell uppskatta markpotentialen i en punkt på ett avstånd x från den punkt där den spänningssättande jordfelsströmmen injiceras.

$$V_x = V \times \left(\frac{r_e}{x}\right)$$

$$R_e = \frac{\rho}{2\pi \cdot r_e}$$

Där:

r_e motsvarar radien hos en halvsfär som representerar jordtaget [m]

R_e motsvarar jordtagets resistans om det antas utformat som en hemisfär [Ω]

ρ = markresistivitet [Ωm]

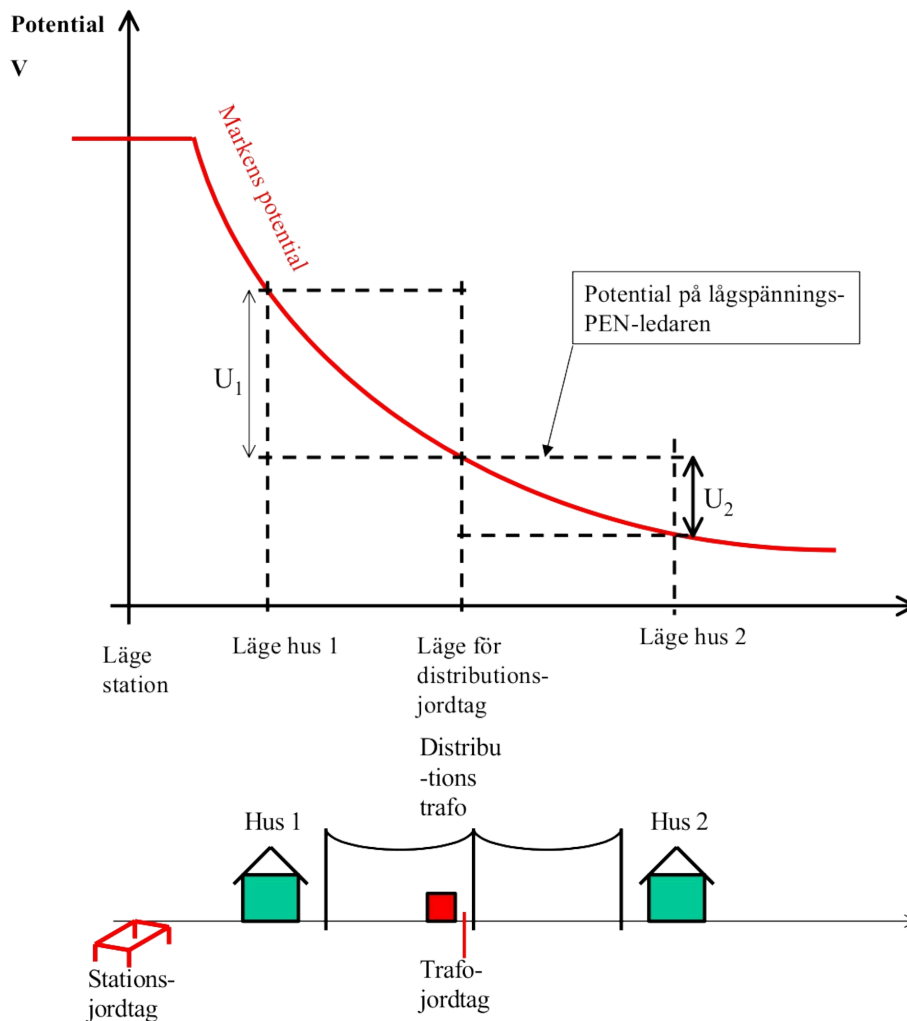
I_j = spänningssättande jordfelsström [A]

$U = I_j \times R_e$ motsvarar jordtagets potentialhöjning vid ett jordfel [V]

Spänningen beror således på avståndet till jordfelet, jordfelsströmmens storlek och markresistiviteten. Vid en högre markresistivitet kommer således spänningstratten att sprida sig över ett större område.

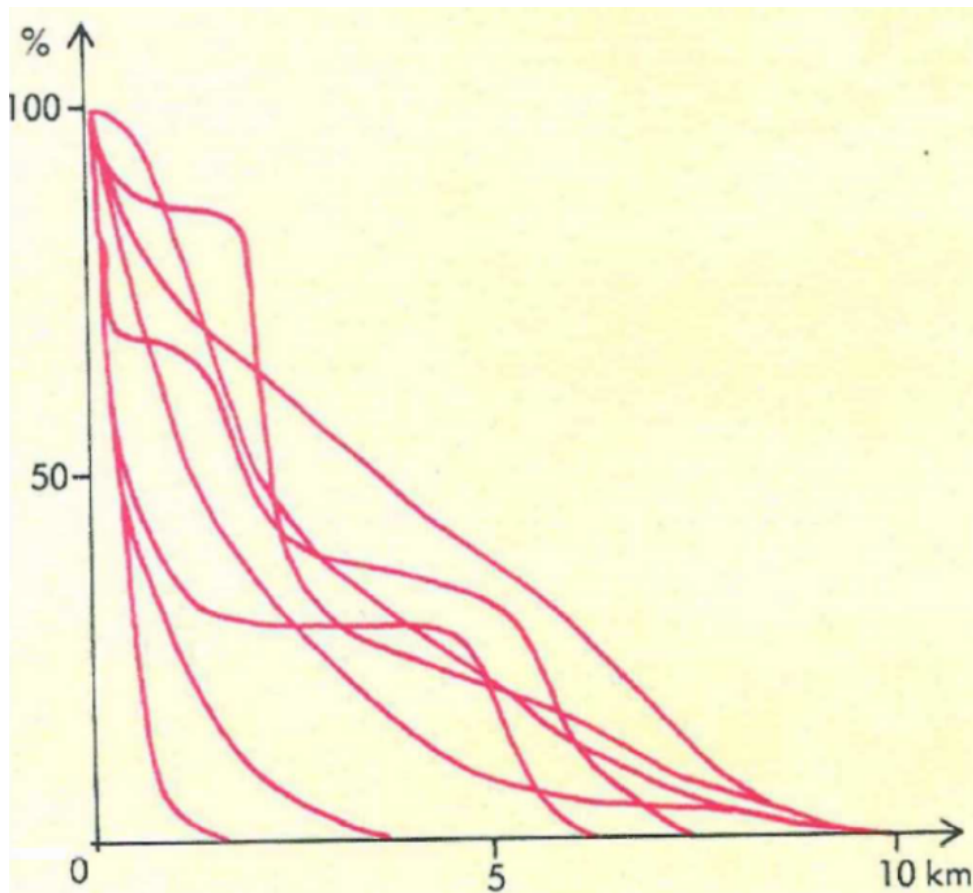
Problemet med markpotentialhöjningen är normalt, i Sverige, inte potentialhöjningen i sig självt utan problemet är att andra anläggningar inom området för markpotentialhöjningen kan ha potentialer som avsevärt avviker från den aktuella markpotentialen. Detta kan både leda till höga beröringsspänningar och att anläggningen kan utsättas för höga potentialskillnader mellan mark och anläggning. Detta kan illustreras enligt **Figur 18** där PEN-ledaren har en lägre potential än omkringliggande mark vid Hus 1 (U_1) och tvärtom vid Hus -2 (U_2).

⁴⁴ ITU-T K.107, SERIES K: PROTECTION AGAINST INTERFERENCE - Method for determining the impedance to earth of earthing systems, TELECOMMUNICATION STANDARDIZATION SECTOR OF ITU, 2015-11-29, avsnitt 8 på sid 15.



Figur 18: Illustration av potentialskillnad som kan uppstå vid en lågspänningsanläggning vid ett jordfel.

Potentialtratten fungerar normalt inte bra för detaljerade beräkningar i Sverige, på grund av den varierande markresistiviteten, men potentialtratten fungerar bra som illustration av hur markpotentialhöjningen kan leda till problem för omgivningen. Mätningar av potentialfördelningen utanför direktjordade stationer utfördes av Vattenfall före 1985 och resultatet presenteras i **Figur 19**.



Figur 19: Exempel på resultat av mätning av potentialfördelning runt några direktjordade stationer⁴⁵.

6.3 UTFORMNING AV LEDNINGAR OCH STOLPAR

Ledningsutformningen har betydelse för hur omgivningen påverkas vid ett jordfel på ledningen. För de högre spänningarna på transmissionsnivå (220 kV och 400 kV) byggs ledningarna numera med stålstolpar och toppledare av FeAl. Äldre ledningar kan vara utrustade med Fe-toppedare. Redan när man började bygga de långa ledningarna från Norrland ner till Mellansverige, lade man genomgående markledare vilket skulle ge tillräckligt låga jordtagsresistanser för att begränsa konsekvenserna av jordfel orsakade av åska⁴⁶.

Toppedare, bra lokalt jordtag och genomgående markledare, har alla sitt ursprung i att reducera den spänningssättning av stolpen som uppstår vid blixtnedslag för att minska risken för, ett överslag till fasledare som leder till, ett jordfel på ledningen. Både toppedare och genomgående markledare minskar såväl den inducerande strömmen som den spänningssättande strömmen enligt beskrivning i avsnitt 6.1.

Ledningar för 130 kV, men framförallt äldre ledningar för 220 kV, kan vara utformade med trästolpar. I Sverige är fasledarna i trästolpledningar upphängda i

⁴⁵ Extra high voltage transmission in Sweden, Vattenfall, 1985, ISBN-91-7186-245-5, figur 7.6.

⁴⁶ Sveriges första 380 kV ledning Harsprånget-Hallsberg, Kungl. Vattenfallsstyrelsen, 1950, sid 36.

stålreglar. Beroende på sannolikheten och konsekvensen för åskfel kan ledningen utformas med eller utan toppledare.

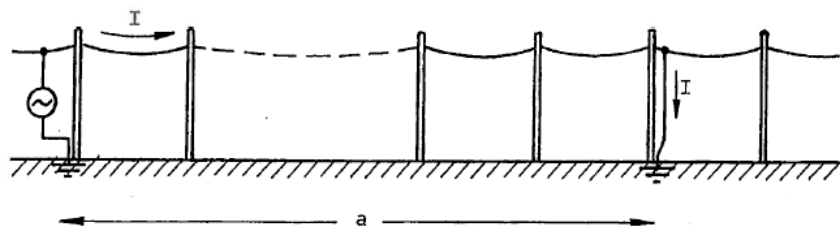
Om trästolpledningar utformas utan toppledare (förutom i anslutning till stationerna) finns det normalt inget behov av att anlägga jordtag för jordning av metallreglarna. Om det saknas jordtag kommer ett fel på denna ledning normalt inte att leda till ett jordfel. Åskfel på dessa ledningar kommer att vara 2- eller 3-fasiga. Detta beroende på det långa avståndet mellan fasledare/stolpregel och jordad del (t.ex. stag) eller marken.

Om trästolpledningen utrustas med toppledare ur åskskyddssynpunkt kommer det att krävas jordtag längs ledningen för att reducera den spänning som uppstår vid blixtnedslaget. Dessa jordtag får inte vara för utspridda då de mycket snabba spänningsförloppen vid åsknedslag kräver bra jordtag, om möjligt vid varje stolpe, för att få ett fullgott skydd.

Vid provning i laboratorium (kort stöt) för att testa utrustning för de snabba förlopp som ett blixtnedslag utgör kommer spänningen att öka från 0 V till toppvärdet på spänningen på straxt över 1 μ s. Ljushastigheten är ca 300 000 km/s vilket motsvarar 300 m/ μ s. En spänningsvåg kommer att fortplanta sig längs topplinorna så att dess början kommer att befinna sig cirka 300 m från blixterns inslag i kraftledningen när spänningen har nått sin topp vid inslagsstället, vilket är i samma storleksordning som längden av ett ledningsspänn. Om jordtag befinner sig långt från blixterns inslagsplats kommer ingen reduktion av dess spänning att ske och därmed blir risken hög för överslag till faserna.

6.4 BERÖRINGSSPÄNNING

Metoden som är vanligast för beröringsspänningsmätningar i Sverige är starkströmsmetoden som illustreras i **Figur 20**. Det är enligt SS-EN 50522 utg 2:2022, en normativ fordring att tillämpa denna metod (bilaga H) vid konstruktionen av en högspänningsinstallation.



Normala värden

Provström: $I = 10 - 50 \text{ A}$

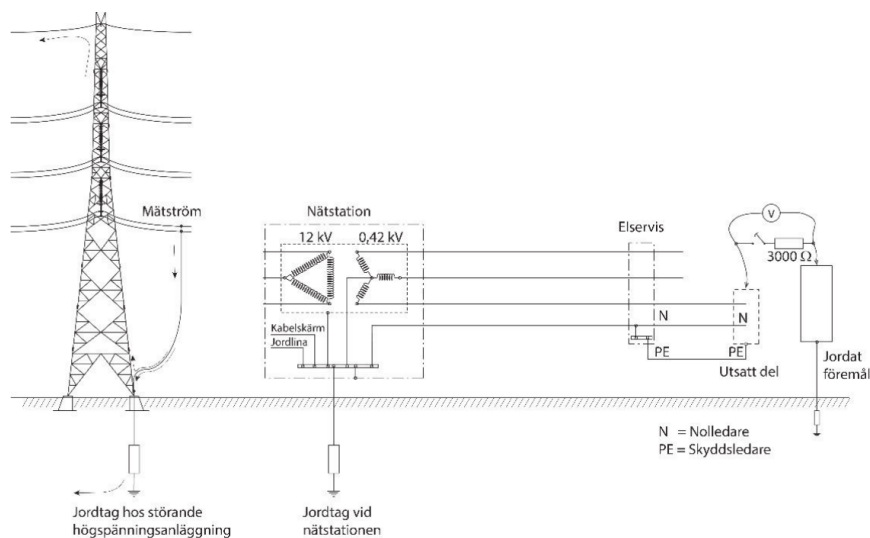
Mätfrekvens: $f = 40 - 43 \text{ Hz}$

Avstånd: $a > 10 \text{ km}$

Figur 20: Uppställning för mätning med starkströmsmetoden.

Det finns olika beskrivningar av mätmetoder för att mäta beröringsspänningar men den som används av Svenska kraftnät⁴⁷ kan användas som referens i denna rapport.

Vid mätning av beröringsspänningen placeras en generator i en anslutande station eller vid stolpen där jordfelet skall simuleras som skickar en ström, I i **Figur 20**, längs en av fasledarna. Strömmen går sedan i retur till generatoren via toppledare, markledare, etc., samt via marken (den spänningssättande strömmen). Själva mätuppställningen illustreras bra i **Figur 21**.



Figur 21: Förfarande för mätning av beröringsspänningar på utsatta delar.⁴⁸

Mätresistansen $3\,000\ \Omega$ till höger i **Figur 21** var den mätimpedans som tidigare⁴⁹ användes. Den skall numera vara $1\,000\ \Omega$ ⁵⁰.

Mätningen skall utföras med brytaren, vid mätresistansen, öppen (obelastat värde) och med brytaren sluten (belastat värde). Kravet på beröringsspänning gäller för det belastade värdet.

Grunden för att använda sig av det belastade värdet för bestämning av beröringsspänning är att det är strömmen genom kroppen som kan ge skador vilket illustreras i Tabell 6 och som ligger till grund för tillåten beröringsspänning presenterad i kapitel .

⁴⁷ TR13-03-04 utg. 1.0, Mätning av steg- och beröringsspänning, Svenska kraftnät, 2022-01-10.

⁴⁸ TR13-03-04, Figur 3.

⁴⁹ ELSÄK-FS 2008:1, 5 kap, 8 §.

⁵⁰ ELSÄK-FS 2022:1, 5 kap, 7 §.

Tabell 6: Tillåten kroppsström, I_B beroende på felets varaktighet t_f .⁵¹

Fault duration, t_f	Body current $I_B (t_f)$
s	mA
0,05	900
0,10	800
0,20	600
0,50	200
1,00	80
2,00	60
5,00	51
10,00	50

Vid mätningen av beröringsspänningar på utsatta delar använder man sig av en provström på tioalet Ampere medan den aktuella jordfelsströmmen kan vara 1 000 gånger högre. Man beräknar sedan beröringsspänningen vid verklig felström genom att skala upp den mätta spänningen, från aktuell mätström upp till beräknad jordfelsström.

6.4.1 Relationen mellan belastat och obelastat värde

Vid mätning av beröringsspänning registreras både det belastade mätvärdet (t.ex. mätt med 1 000 Ω) och det obelastade värdet (mätt höghomigt) vid mätning för Svenska kraftnät⁵².

Om man antar en förenklad mätkrets enligt **Figur 22** där $U_m = U_{VT}$ när mätning utförs med det höghomiga mätinstrumentet då brytaren ovan Z_T (mätresistansen på 1 000 Ω) är öppen. Vid slutet brytare kommer spänningen att representera beröringsspänningen $U_m = U_T$. R_{earth} representerar markens resistans som påverkar mätresultatet. Det är troligt att R_{earth} har en koppling till markresistiviteten. Det närmaste som R_{earth} kan representera är R_{F2} ⁵³ i SS-EN 50522. Om man antar att R_{earth} kan representera R_{F2} kan man uppskatta aktuell markresistivitet enligt:

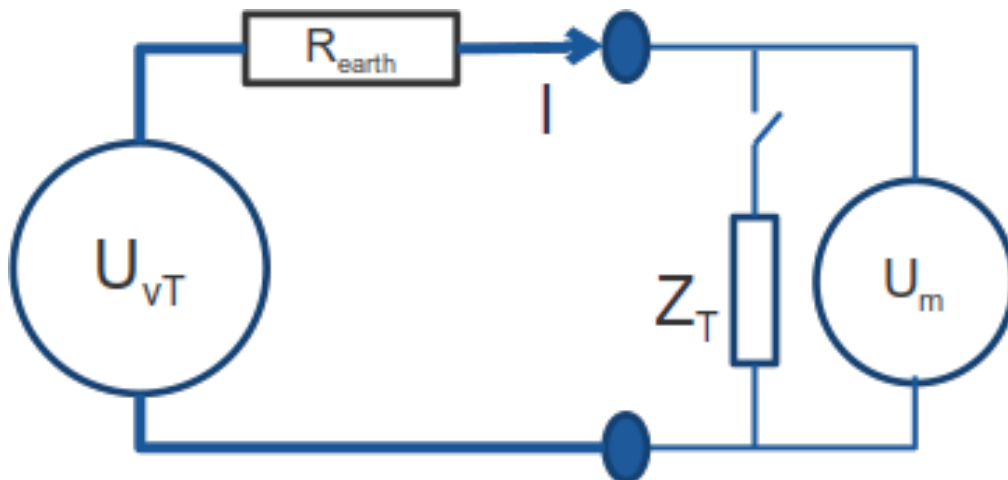
$R_{F2} = 1,5m^{-1} * \rho_s$ ⁵⁴, där ρ_s representerar specifik markresistivitet hos markytan.

⁵¹ SS-EN 50522, Table B.1

⁵² TR13-03-04.

⁵³ SS-EN 50522, Avsnitt L.4, Figur L.2, L.3, L.4 och L.5.

⁵⁴ SS-EN 50522, Annex B, Figur B.2



Figur 22: Förenklad modell vid mätning av beröringsspänning.

För att verifiera modellens relevans utförde Mats Wahlberg, 2016, mätningar med två olika värden på Z_T , 3 000 Ω respektive 1 000 Ω . Därefter beräknades R_{earth} utifrån de två uppmätta värdena för obelastad respektive belastad krets. Skillnaden för fyra mätningar var mindre än 1% medan ett värde var straxt under 2% så modellen tycks vara acceptabel.

Mätning av beröringsspänning görs numera med en belastning på 1 000 Ω och det obelastade värdet är alltid högre än det belastade värdet. Storleken på denna skillnad är beroende på R_{earth} .

Mätningarna som Mats Wahlberg utförde presenteras i **Tabell 7** och visar att det obelastade värdet vid mätning med $Z_T = 3\,000\ \Omega$ var mellan 1,5 - 4 ggr det belastade värdet och med $Z_T = 1\,000\ \Omega$ var det obelastade värdet mellan 2,4 - 10 ggr det belastade värdet.

Tabell 7: Mätresultat vid jämförelse mellan 1 000 Ω och 3 000 Ω. Mätvärdena är omräknade till värden för beräknad jordfelsström.

Mät punkt	U_{VT} [V]	$U_T - 3\text{ k}\Omega$ [V]	R_{earth} [Ω]	U_{VT}/U_T [1]	$U_T - 1\text{ k}\Omega$ [V]	R_{earth} [Ω]	U_{VT}/U_T [1]
7 - viltstängsel	417	300	1 712	1,57	174	1 705	2,7
8 - viltstängsel	520	354	1 411	1,47	216	1 405	2,4
9 - viltstängsel	176	100	2 263	1,75	54	2 255	3,3
10 - vägguttag	1 616	396	9 230	4,08	157	9 266	10,3
11 - vägguttag	1 606	403	8 969	3,99	158	9 139	10,1

För äldre mätningar, utförda med $Z_T = 3\ 000\ \Omega$, kan ett förväntat värde för $Z_T = 1\ 000\ \Omega$, beräknas enligt:

$$\left(\frac{U_{VT}}{U_T}\right)_{1\text{ k}\Omega} = \left[\left(\frac{U_{VT}}{U_T}\right)_{3\text{ k}\Omega} - 1\right] \cdot \frac{3\text{ k}\Omega}{1\text{ k}\Omega} + 1 = 3 \cdot \left(\frac{U_{VT}}{U_T}\right)_{3\text{ k}\Omega} - 2$$

Vid en genomgång av ett fåtal äldre (1970, 1980 o 1990 talet) mätningar av beröringsspänningar längs ledningar, med $Z_T = 3\ 000\ \Omega$, erhöles resultat enligt **Tabell 8**. Resultaten är även omräknade till 1 000 Ω enligt ekvationen ovan.

Tabell 8: Sammanställning av resultat från några mätningar från 1970, 1980 och 1990 talet där relationen mellan obelastat värde och belastat värde vid beröringsspänningsmätningar beräknats. Resultatet är även omräknat till 1 000 Ω.

U_T	Åtgärd	3 000 Ω		Omräknat till 1 000 Ω	
		$U_{VT}/U_T - \text{min}$	$U_{VT}/U_T - \text{max}$	$U_{VT}/U_T - \text{min}$	$U_{VT}/U_T - \text{max}$
< 600 V	Nej	1,0	60	1,0	178
> 600 V	Ja	1,05	5,3	1,1	14

Som framgår kan obelastade spänningsvärden på upp till 14 ggr det belastade värdet erhållas vid mätning med $Z_T = 1\ 000\ \Omega$ och en beröringsspänning som överstiger tillåtet värde.

Beröringsspänningsmätning från Svenska kraftnät

Resultat från mätning av beröringsspänningar längs 6 st ledningar vid 191 stolplatser med totalt 2 089 mätpunkter har analyserats. Mätningen utfördes med en mätimpedans på $Z_T = 3\ 000\ \Omega$ och med krav på 600 V⁵⁵. Beräkning av U_T för $Z_T = 1\ 000\ \Omega$ samt R_{earth} och relationen U_{VT}/U_T för både 1 000 Ω och 3 000 Ω beräknades för samtliga mätpunkter i enlighet avsnitt 6.4.1.

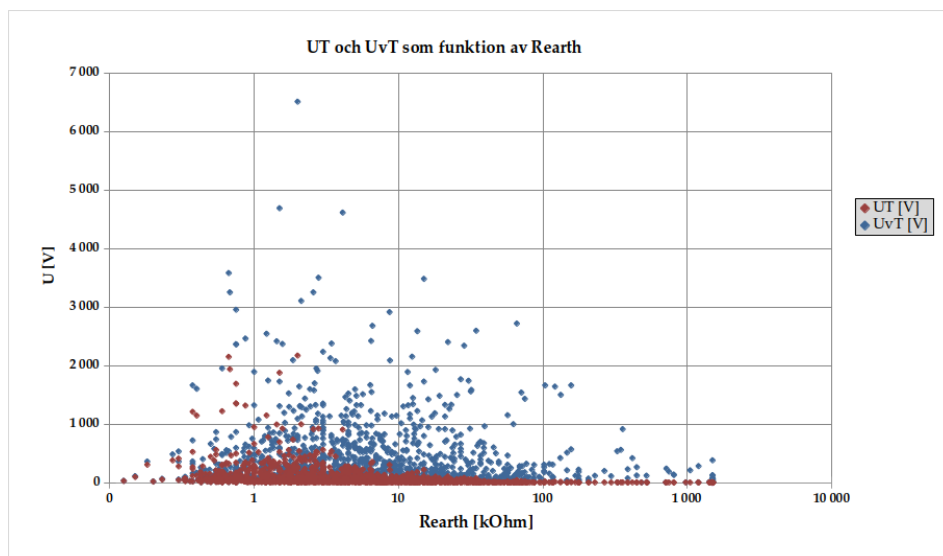
Av dessa 2 089 mätpunkter översteg det belastade värdet 600 V för 64 mätpunkter som därmed krävde någon skyddsåtgärd. Vid beräkning av U_T för 1 000 Ω konstaterades det att 138 mätpunkter översteg tillåtet värde på 220 V⁵⁶. Dvs. det nya kravet i ELSÄK-FS 2022:1 leder till att ytterligare skyddsåtgärder krävs jämfört med tidigare krav.

⁵⁵ ELSÄK-FS 2008:1, 5 kap. 8 §.

⁵⁶ ELSÄK-FS 2022:1

Om man ökar tillåten spänning för $Z_T = 1000 \Omega$ från 220 V till 353 V så kommer 64 mätpunkter att överstiga detta värde som då motsvarar antalet vid mätning med $3\,000 \Omega$. Det bör observeras att det är inte samtliga mätpunkter som är lika för $1\,000 \Omega$ och $3\,000 \Omega$. Dvs. vissa mätpunkter som överstiger 600 V med $3\,000 \Omega$ överstiger inte 353 V med $3\,000 \Omega$ och vice versa.

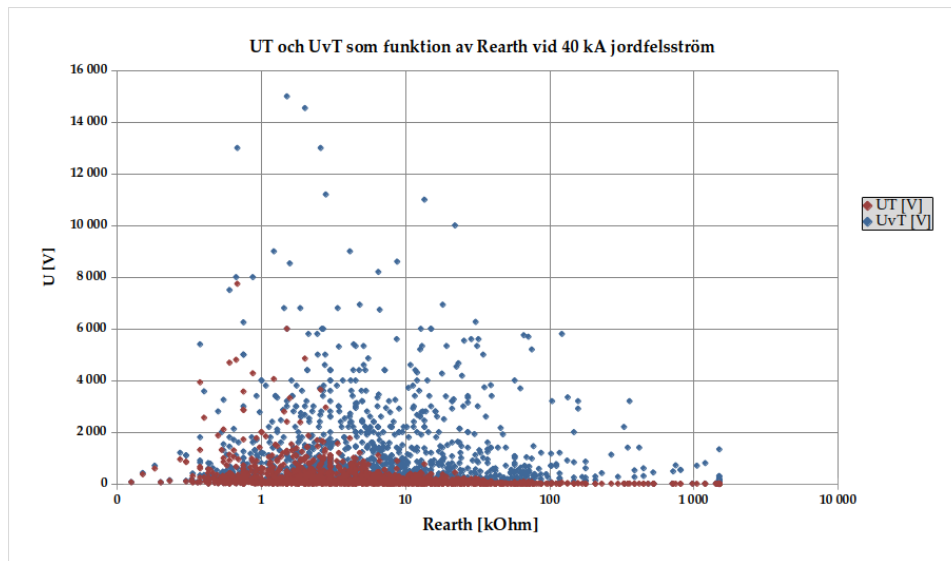
Mätningarna utfördes med en beräknad jordfelsström från 6,1 kA upp till 25,5 kA som beror på felets placering längs ledningen (se **Figur 23** som referens). Uppmätta/beräknade spänningar är beroende av storleken på jordfelsströmmen. Däremot är den beräknade resistansen, R_{earth} , oberoende av både storleken på felströmmen och storleken på mätimpedansen. Resultaten indikerar att vid en hög R_{earth} så kommer relationen mellan obelastat värde och belastat värde, U_{vT}/U_T , att vara hög men samtidigt kommer både U_{vT} och U_T att vara betydligt lägre än vid lägre R_{earth} .



Figur 23: U_{vT} och U_T vid en jordfelsström enligt protokoll.

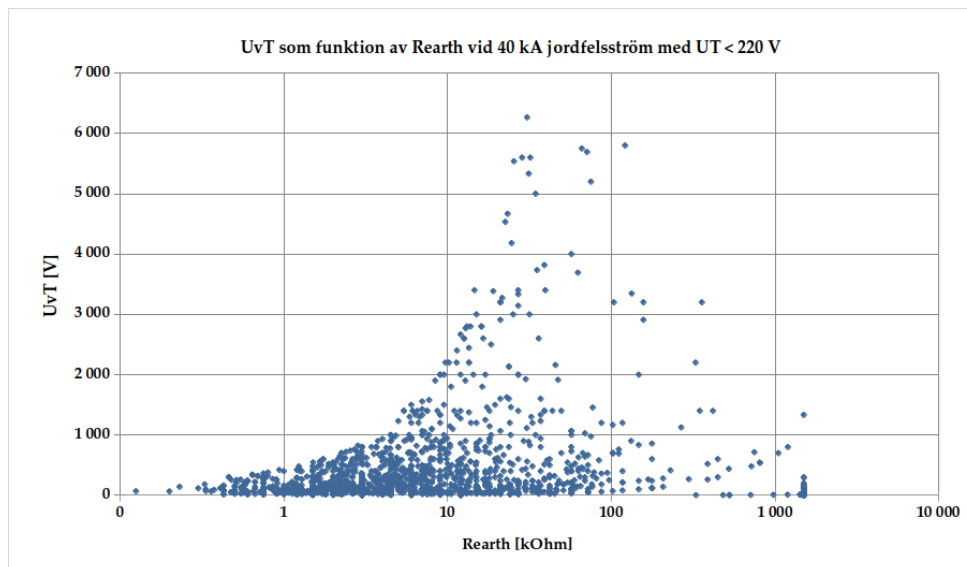
För att kunna göra en bedömning av hur höga obelastade spänningar, U_{vT} , som kan uppstå vid ett jordfel kan man använda sig av samma och relativt höga jordfelsström vid skalning för samtliga mätpunkter. En jordfelsström på 40 kA har antagits för ett framtida scenario.

Om man antar en jordfelsström på 40 kA för samtliga mätpunkter kommer den högsta obelastade spänningen, U_{vT} , att vara 15,0 kV medan de flesta värden ligger under 4 kV. Detta illustreras i **Figur 23**.

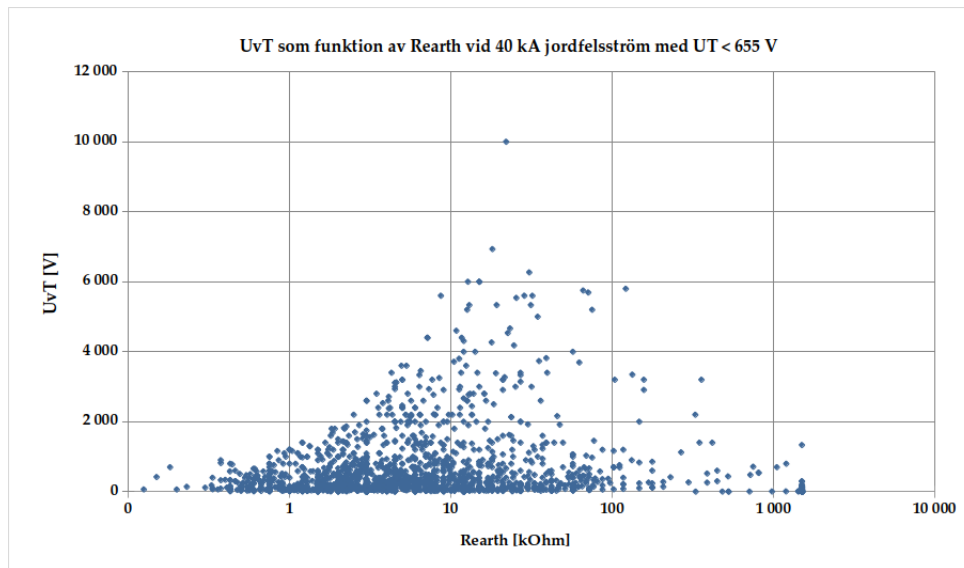


Figur 24: U_{vT} och U_T vid en jordfelsström på 40 kA.

De värden som presenteras i **Figur 24** är innan eventuella skyddsåtgärder. Vid införande av skyddsåtgärder pga. höga beröringsspänningar (skyddsåtgärder som även antas påverka anläggningar, se avsnitt 6.5) så bör man kunna anta att även det obelastade värdet reduceras. För att illustrera detta togs de värden bort där det obelastade värdet, U_T , översteg 220 V (**Figur 25**) och 655 V (vid $t_f = 0,1$ s i) i **Figur 26**.



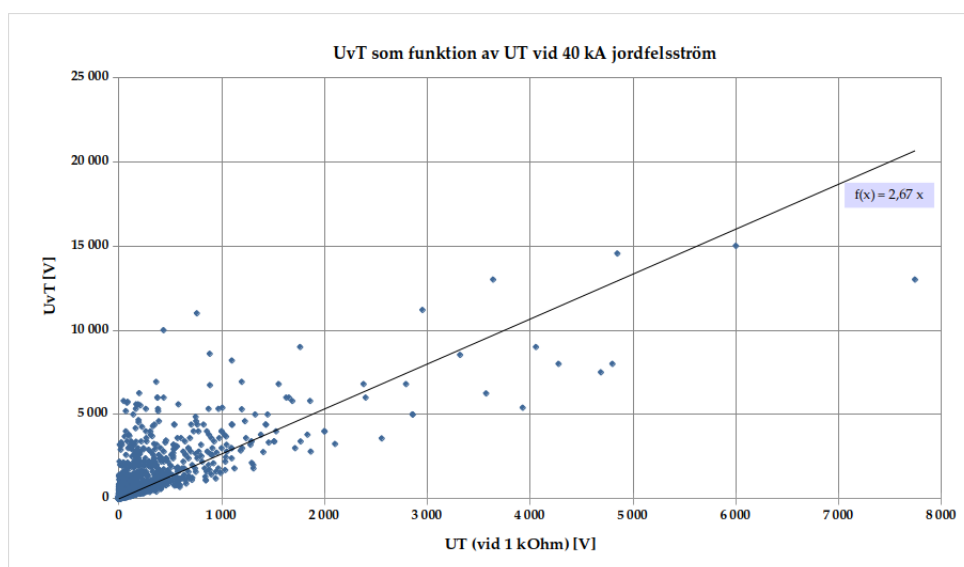
Figur 25: Obelastat värde, U_{vT} , då belastat värde, U_T , understiger 220 V.



Figur 26: Obelastat värde, U_{vT} , då belastat värde, U_T , understiger 655 V.

Som framgår i **Figur 25** kommer relativt höga obelastade värden att kunna uppstå även om man begränsar det belastade värdet till 220 V. Om man betraktar obelastade värden över 4 kV så är det 13 mätvärden som överstiger detta värde. För det fall man begränsar det belastade värdet till 655 V, **Figur 26**, så är motsvarande antal 28 st. Utan dessa begränsningar så visar **Figur 24** att 73 mätpunkter överstiger 4 kV.

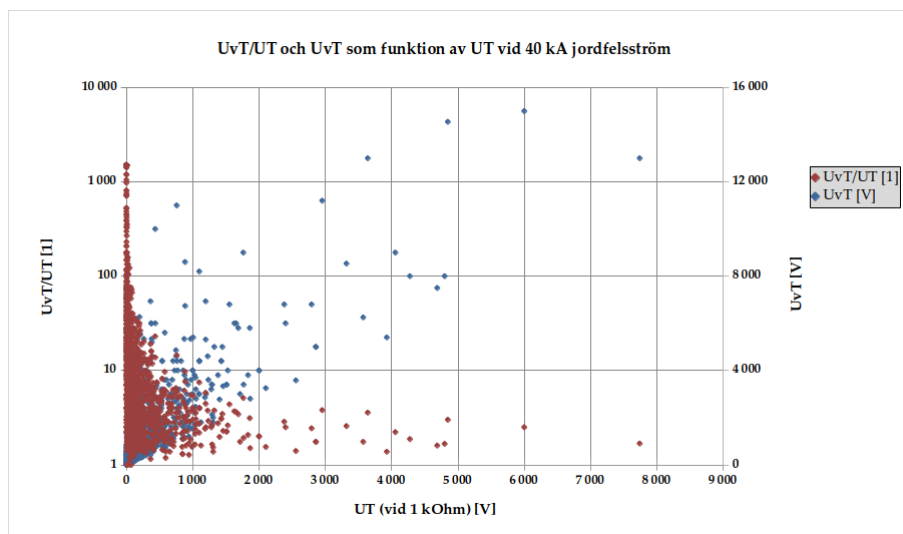
R_{earth} är beräknat utifrån uppmätt obelastat och belastat värde så U_{vT}/U_T är proportionellt mot R_{earth} . För större relation U_{vT}/U_T är R_{earth} högre. Det skulle kunna antas att högre obelastade värden uppträder vid högre markresistivitet. För att illustrera hur uppmätta värden av belastat värde relateras till uppmätt obelastat värde visas denna relation i **Figur 27**.



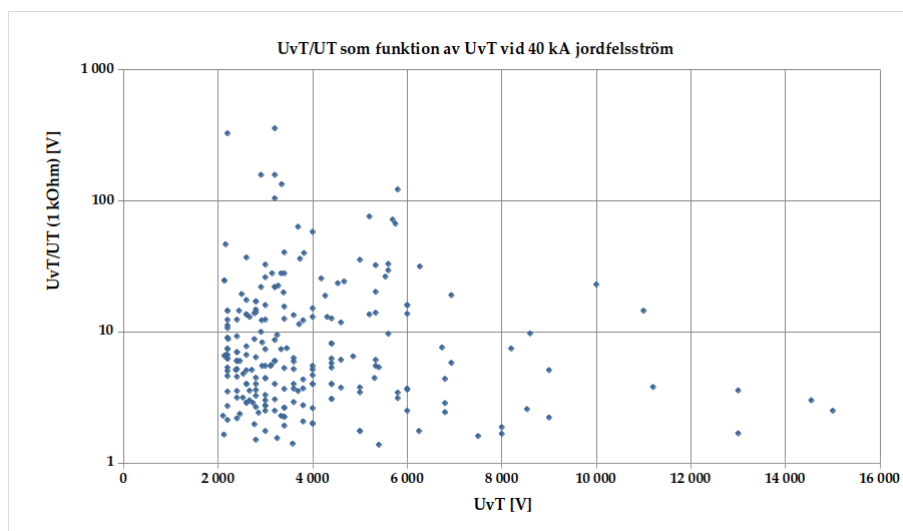
Figur 27: Relation mellan uppmätt belastat värde U_T och obelastat värde U_{vT} .

Som framgår i **Figur 27** så uppstår de högsta obelastade värden vid de tillfällena då även det belastade värdet är högt. Det motsvarar de tillfällena då R_{earth} även är lågt. Som trendlinjen i **Figur 27** visar så är det uppmätta belastade värdet ca. 2,7 ggr högre än det belastade värdet.

Som framgår av figuren så är relationen mellan belastat och obelastat värde högre för de tillfällena när belastat värde var lågt men de högsta värdena för obelastat värde uppträder då även det belastade värdet är högt. Detta visas tydligt i **Figur 28** där man kan se att relationen mellan belastat värde och obelastat värde är avsevärt mycket högre för låga obelastade värden, men de högsta obelastade spänningarna uppstår vid höga belastade spänningar.



Figur 28: Relationen mellan obelastat värde och belastat värde.



Figur 29: Relationen U_{vT}/U_T som funktion av U_{vT} för U_{vT} över 2 000 V. Medelvärde är 16 för dessa värden.

I avsnitt 6.4.1 uppskattades relationen belastat/obelastat värde till 14 ggr och i dessa mätningar från Svenska kraftnät kan relationen uppskattas till 16 ggr.

En kommentar angående **Figur 24** till **Figur 29** är att samtliga dessa resultat har beräknats utifrån samma höga antagna jordfelsström på 40 kA. Denna höga jordfelsström kommer endast att uppträda i anslutning till stationer eftersom jordfelsströmmen kommer att vara lägre längs ledningarna i enlighet med **Figur 13**. Trots den höga felströmmen som använts vid beräkningen så är det relativt få värden som är riktigt höga - 4 st över 12 kV, 12 st över 8 kV och 73 st över 4 kV - utav 2 089 mätpunkter. Om beröringsspänningsmätningar utförs, kommer en stor del av dessa höga värden att reduceras vid de tillfällen som skyddsåtgärder genomförs vilket illustreras i **Figur 25** och **Figur 26**.

Dessa höga spänningar skulle kunna uppträda vid platser där inga beröringsspänningsmätningar utförs och därmed inga skyddsåtgärder införs.

6.4.2 Beröringsspänningar med och utan tilläggsresistanser

Vad gäller standarder så kan man ta hänsyn till den tilläggsresistans vid beräkning av tillåten beröringsspänning, som ges av handskar, skor, markresistiviteten, etc. De standarder som är aktuella i detta fall är SS-EN 50522 utgåva 2, som relaterar till stationer samt SS-EN 50341-1 som relaterar till ledningar. SS-EN 50522 utgåva 2 är utgiven senare så den kommer att användas i detta avsnitt med utnyttjande av viss information i SS-EN 50341-1. Med tilläggsresistansen kan "*Förväntad beröringsspänning*", U_{VT} , beräknas samt dess gränsvärde U_{VTp} . U_{VT} motsvarar det obelastade värdet vid en beröringsspänningsmätning. Det obelastade värdet är det som kan antas påverka anläggningar.

Tilläggsresistansen behandlas i Annex B.4 i SS-EN 50522 och i Annex G.4.2 i SS-EN 50341-1.

Om man vill öka tillåten beröringsspänningen kan man ta hänsyn till möjligheten av en kortare fränkopplingstid. Man kan då anta att de nya reglerna bör följa svensk standard SS-EN 50522. I detta avsnitt beskrivs tillvägagångssättet att bestämma beröringsspänning med och utan tilläggsresistans.

Gränsvärdet för beröringsspänningen kan bestämmas utifrån

Tabell 9⁵⁷ som visar några värden tagna från **Figur 10**. Dessa värden avviker något från motsvarande värden i SS-EN 50341-1⁵⁸.

⁵⁷ SS-EN 50522 utgåva 2, Annex B Table B.4.

⁵⁸ SS-EN 50431-1, Annex G, Table G.6

Tabell 9: Beräknade värden för den tillåtna beröringsspänningen U_{Tp} som funktion av felets varaktighet t_f (värden på U_{Tp} är avrundade till 5 V).

Fault duration t_f s	Permissible touch voltage U_{Tp} V
0,05	725
0,10	655
0,20	525
0,50	225
1,00	115
2,00	95
5,00	85
10,00	85

I föregående version av SS-EN 50522⁵⁹ var värdena i tabellen något annorlunda och för felets varaktighet på 0,5 s så var tillåten beröringsspänningen 220 V som överensstämmer med ELSÄK-FS 2022:1.

Beröringsspänningen som visas i

⁵⁹ SS-EN 50522 utgåva 1, Bilaga B, Tabell B.3.

Tabell 9 kommer inte att vara så hög att apparater/anläggningar förväntas ta skada. För andra anläggningar är det obelastade värdet av intresse. Det obelastade värdet är också av intresse för att bestämma tillåtna spänningar när tilläggsresistanser beaktas. När tilläggsresistanserna beaktas så är det den "Förväntade beröringsspänning", U_{VT} (benämnd U_D i SS-EN 50341-1), som sätter gränsen, U_{vTp} , för det obelastade värdet i vissa fall.

För bestämning av U_{VT} med tilläggsresistanser (benämnd R_F i SS-EN 50522 och R_a i SS-EN 50341-1) finns exempel på dessa tilläggsresistanser angivna i SS-EN 50522⁶⁰, och SS-EN 50341-1⁶¹. För nedanstående beräkningar har följande tilläggsresistanser valts: 0 k Ω , 4 k Ω samt 7 k Ω .

Beräkning av U_{vTp} , kan göras enligt följande ekvation från SS-EN 50522⁶²:

$$U_{vTp}(t_f) = U_{Tp}(t_f) + \frac{I_B(t_f)}{HF} \cdot (R_H + R_F)$$

Det intressanta är att gränsvärdet, U_{vTp} , beräknas utifrån strömmen genom kroppsimpedans och tilläggsresistanser men vid beröringsspänningsmätning så bestäms U_{VT} som det obelastade värdet⁶³.

För att en anläggning skall betraktas som säker skall antingen U_T eller U_{VT} vara lägre än de tillåtna värdena, U_{Tp} och U_{vTp} ⁶⁴.

Om man utgår från

⁶⁰ SS-EN-50522 utgåva 2, Annex B, Figure B.3

⁶¹ SS-EN 50341-1, Annex G, avsnitt G.4.2.

⁶² SS-EN 50522 utgåva 2, Annex A, Equation A.3 och Annex B page 33.

⁶³ SS-EN 50522 utgåva 2, Annex H.

⁶⁴ SS-EN 50522 utgåva 2, Figure 9.

Tabell 9 för tillåtna beröringsspänningar samt motsvarande tillåten kroppsström, I_B enligt Tabell 6, och med antagande om att $HF = 1$ samt att tilläggsresistanserna $R_H + R_F$ är $0 \text{ k}\Omega$, $4 \text{ k}\Omega$ respektive $7 \text{ k}\Omega$ sätts in i ekvationen ovan, kan U_{vTp} och R_{earth} beräknas. Resultaten presenteras i **Tabell 10**, där R_{earth} är beräknat utifrån modellen i avsnitt 6.4.1.

Tabell 10: Beräknad tillåten förväntad beröringsspänning för olika tilläggsresistanser. Dessutom beräknades R_{earth} enligt den enkla modellen i avsnitt 6.4.1.

$R_F + R_H$	0 k Ω		4 k Ω		7 k Ω	
t_f [s]	U_{vTp} [V]	R_{earth} [Ω]	U_{vTp} [V]	R_{earth} [Ω]	U_{vTp} [V]	R_{earth} [Ω]
0,05	725	0	4 325	4 966	7 025	8 690
0,10	655	0	3 855	4 885	6 255	8 550
0,20	525	0	2 925	4 571	4 725	8 000
0,50	225	0	1 025	3 556	1 625	6 222
1,00	115	0	435	2 783	675	4 870
2,00	95	0	335	2 526	515	4 421
5,00	85	0	289	2 400	442	4 200
10,00	85	0	285	2 353	435	4 118

Den tillåtna "Förväntade beröringsspänningen" U_{vTp} (obelastat värde) är det som kan påverka anläggningar.

Resistansen, R_{earth} representerar resistansen i marken. Vid ett högre värde på R_{earth} kommer det obelastade värdet att vara högre relativt det belastade värdet. Kravet är att det obelastade eller det belastade värdet skall vara lägre än U_{vTp} respektive U_{Tp} . Om R_{earth} överskrider beräknade värden i tabellen så kommer det att vara U_T som styr om skyddsåtgärder behöver införas medan för de fall R_{earth} understiger värdet i tabellen så är det U_{vT} som styr om skyddsåtgärder krävs. Ett högt R_{earth} -värde leder till stor skillnad mellan U_{vT} och U_v . Det leder även till att anläggningar kan utsättas för högre obelastade värden än om R_{earth} -värdet är lägre. Detta förutsatt att mätningar av beröringsspänningar utförs på aktuell plats.

6.4.3 Skillnad mellan spänning vid beröring och utan beröring

Kraven på högsta beröringsspänning sätts av den motsvarande strömmen genom kroppen vid beröring, se Tabell 6. För apparater i elanläggningar är det i de flesta fall isolationen som utsätts för den aktuella spänningen. Apparaten har då en isolation som är mycket höghög och en mycket låg ström går därigenom. Den spänning som denna isolation utsätts för är inte beröringsspänningen utan snarare det obelastade värdet om en mätning utförs vid platsen.

Vid mätning av en beröringsspänning på strax under 220 V, alltså under det tillåtna värdet, mellan t.ex. en PEN-ledare och marken kommer isolationen på en kabel som ligger förlagd i marken att utsättas för den obelastade spänningen som kan vara upp till 16 ggr högre, dvs. ca 3,5 kV enligt beskrivning i avsnitt 6.4.1. Om den tillåtna beröringsspänningen ökar kommer därmed även det obelastade värdet att öka.

6.4.4 Påverkan på anläggningar

Påverkan på omgivningen kommer att bero på storleken på jordfelsströmmen, utformning av ledningar och stationer samt markresistiviteten. Utformning av

nätet så att jordfelsströmmarna hålls nere samt ledningar med toppledare och markledare med bra ledningsförmåga bidrar till att minska påverkan på omgivningen vid jordfel. För regionledningar kan trästolpledningar utan toppledare och därmed utan jordtag vara ett alternativ. Markresistiviteten är något som normalt inte är aktuellt eller ens möjligt att påverka. Man kan även projektera ledningarna så att jordtagen placeras så att returströmmarna via marken leds bort från områden med elanläggningar som kan påverkas av förhöjt markpotential.

6.4.5 Anläggningar som skyddas och de som inte skyddas

Elanläggningar som befinner sig inom ett område kring en direktjordad högspänningsanläggning kan delas upp i två typer. Den ena typen ligger så att elanläggningarna kommer att påverkas av beröringsspänningsmätning och därmed kommer att kunna skyddas av de skyddsåtgärder som då utförs. Den andra typen är anläggningar som inte påverkas av en beröringsspänningsmätning. Det senaste skulle t.ex. kunna vara en lågspänningskabel som passerar ett område med hög markpotentialhöjning vid ett jordfel, men vars ändrar ligger i områden som inte har detta problem. Även anläggningar som kan utsättas för induktion löper risk att missas vid en beröringsspänningsmätning. Det kan även vara viltstängsel, räcken längs med vägar, etc., och som inte är elanläggningar.

De anläggningar, som befinner sig så att beröringsspänningsmätningar utförs och skyddsåtgärder eventuellt vidtas, kommer att ha en känd påverkan då det obelastade värdet, som påverkar dessa anläggningar, mäts. De anläggningar som befinner sig utanför dessa områden kommer att utsättas för en spänning som endast kan begränsas vid konstruktionen av den påverkande direktjordade högspänningsanläggningen.

6.5 UTFORMNING OCH SKYDDSÅTGÄRDER

Andra anläggningar nära direktjordade högspänningsanläggningar påverkas av både induktion och markpotentialhöjning, som beror av jordfelsströmmen, markresistiviteten och utformningen av anläggningen.

För att hålla nere påverkan på omgivningen vid jordfel kan man i ett planeringsskede försöka hålla nere jordfelsströmmarna (vid systemplanering) och den spänningssättande strömmen (vid utformning av ledningar och stationer).

Vid de fall nya elanläggningar byggs nära befintliga stationer och ledningar, för högspänning där höga jordfelsströmmar kan förekomma, bör man vid projekteringen ta hänsyn till detta. Kontakt bör, i ett tidigt skede, tas med anläggningsägaren för den direktjordade högspänningsanläggningen.

Senare, vid mätningar av beröringsspänningar på den färdiga anläggningen, kan man lokalt vid platsen för mätningen införa olika skyddsåtgärder för att reducera beröringsspänningar och därmed även de obelastade spänningar som kan uppkomma.

6.5.1 Markresistivitet

Markresistiviteten är något som inte är direkt påverkbart, men indirekt skulle man kunna påverka markresistiviteten, genom att dra nya ledningar längs sträckor med gynnsamma markförhållanden.

6.5.2 Utformning av anläggningar

Som nämndes i avsnitt 6.4.4 så kommer utformningen av aktuella anläggningar att påverka omgivningen på olika sätt.

Utan jordning

Om man utformar ledningar utan jordtag (trästolpledningar utan toppledare) så kommer enfasiga jordfel att vara mycket ovanliga, eftersom ett fel på ledningen i stor utsträckning kommer att utvecklas till ett 2-fasigt eller 3-fasigt fel. Jordslutning vid flerfasiga fel i trästolpledningar utan toppledare är mycket ovanligt och ger lägre jordslutningsström och blir därmed mindre kritiska ur ett beröringsspänningsperspektiv.

Det kommer att kunna finnas arbetsjordtag längs ledningarna men så länge dessa inte är anslutna till regel eller avslutad i närheten av denna så leder detta inte till en ökad risk för jordfel. Det kan också vara möjligt att det ligger jordlinor längs ledningsgatan en viss sträcka ut ifrån stationerna för att säkerställa ett tillräckligt bra jordtag i stationen. Detta kan även vara kombinerat med toppledare på denna sträcka.

Parallellgående jordledare

För att hålla nere den spänningssättande strömmen som uppkommer vid ett jordfel, så är det en fördel att ha jordledare med låg impedans placerade parallellt med ledningen, så att jordfelsströmmen har möjlighet att ledas tillbaka till stationen utan att passera ner i marken. Toppledare och genomgående markledare finns ofta, men om ytterligare ledare placeras parallellt är det normalt fördelaktigt.

Utformning av låg och mellanspänningsanläggning

Låg- och mellanspänningsanläggningar kan inte alltid utformas på ett normalt sätt när dessa är placerade i närheten av högspänningsanläggningar där det kan uppkomma höga jordslutningsströmmar.

Man bör ta hänsyn till det som nämns i Elsäkerhetslagen, föreskrifter, EBR, etc.

Det som man framförallt bör hantera är hur jordningen utformas, eftersom spänningssättningen av marken vid en jordslutning leder till att jordtag erhåller en potentialhöjning som sedan sprids längs anläggningen, som på andra ställen kan leda till höga beröringsspänningar och utsätta anläggningar för högre spänningar (se **Figur 18**). Det omvända gäller om jordtaget är placerat längre från högspänningsanläggningen och denna lägre potential införs via jordsystemet till ett område där hög markpotential kan uppträda.

6.5.3 Systemplanering

För att hålla nere jordfelsströmmen krävs normalt att man redan i planeringsskedet av elnätet vidtar lämpliga åtgärder, t.ex. genom att undvika att koppla ihop ledningar så att ett alltför maskat nät uppstår. Man kan även se till att undvika att använda sig av sparkopplade systemtransformatorer utan istället ha fullisolerade transformatorer.

Problemet med ökande felströmmar i 400-70 kV näten sågs som ett kommande problem i samband med den stora utbyggnaden i början av 1970-talet. Vattenfall utredde detta (Pk-71 utredningen) och resultatet presenterades i en slutrapport i December 1973⁶⁵.

Under Bakgrund etc. nämns följande:

"Tele- och lågspänningsanläggningar samt olika slag av rönnät påverkas genom inducerade spänningar och potentialdifferenser vid jordfel på närbelägna ledningar eller stationer, som ingår i högspänningsnät med direktjordad nollpunkt. Färliga steg- och beröringsspanningar uppstår kring stolpar och ställverk. Till följd av markens dåliga ledningsförmåga i Sverige kan risker föreligga på relativt långt avstånd från anläggningarna. Störspänningarna är direkt proportionella med jordslutningsströmmens storlek. Med tillväxten av jordslutningsströmmen ökar svårigheten att tekniskt lösa skyddsproblemet speciellt inom storstadsregionerna, och kostnaderna tenderar att bli högst avsevärda.

I dag är ännu felströmmarna av måttlig storlek och deras tillväxt med därav följande problem enligt ovan avser förhållandena under de kommande decennierna."

I slutsatsen i rapporten nämns följande vad gäller jordfelsströmmar⁶⁶:

"Nätplaneringen inriktas på att den totala felströmmen i felstället begränsas till 25 kA för 220 och 130 kV näten. I 400 kV systemet får varje fall behandlas individuellt. I beaktande av att markens resistivitetförhållanden i vissa begränsade områden av landet är avsevärt gynnsammare än vad som legat till grund för denna rekommendation anses inom dessa områden en mindre långt gående begränsning av jordfelsströmmen kunna rekommenderas."

För en allmän begränsning av kortslutningsströmmarna, som också påverkar jordslutningsströmmen, föreslås⁶⁷:

"Den avsedda begränsningen av kortslutningsströmmarna åstadkommes i första hand genom sektioneringar och val av högre transformatorreaktanser. Den tekniska utvecklingen då det gäller andra åtgärder för begränsning av felströmmarna bör beaktas i kommande utvecklingsprogram."

För en begränsning av jordslutningsströmmen föreslås⁶⁸:

"För begränsning av jordslutningsströmmen krävs i vissa fall fulltransformatorer för systemtransformering till 220 och 130 kV. Dessutom föreslås att direktjordningen slopas i ett antal stationer. Samma effekt kan uppnås om fembenta transformatorer lämnas

⁶⁵ Ökande kortslutningseffekt i 400-70 kV näten. Problematik och åtgärder. Slutrapport från Pk-71 December 1973, Vattenfalls blåvita serie 73.1S, ISBN 91-7186-002-9

⁶⁶ Pk-71 Rapporten, sid 23, punkt 2.

⁶⁷ Pk-71 Rapporten, sid 23, punkt 4.

⁶⁸ Pk-71 Rapporten, sid 23, punkt 5.

direktjordade men D-lindningen slopas. Denna lösning kan i ett flertal fall sannolikt accepteras. Som konsekvens av dessa åtgärder erfordras ändringar och kompletteringar i nuvarande reläskyddssystem.”

Lite mer än 15 år efter presentationen av resultatet från P_k-71 utredningen utreddes hur föreslagna åtgärder genomförts och man arbetade om riktlinjerna⁶⁹. I en sammanfattning av utredningens resultat samt förslag till åtgärder nämns följande relaterat till enfasiga jordfelsströmmar⁷⁰.

”Stegringen av de enfasiga jordfelsströmmarna inger problem. Med hänsyn till de speciella jordningsbetingelserna i Sverige angavs i P_k-71-utredningen ett övre gränsvärde på 25 kA för 130-220 kV systemen för att inte allför höga extrakostnader avseende tele- och lågspänningsnät skulle uppstå. Som exempel på motåtgärder nämndes främst reduktion av antalet direktjordade transformatorer och slopande av Δ-lindningar. Man kan nu konstatera att man inte lyckats följa dessa intentioner i tillräcklig omfattning. I vissa fall, i synnerhet vid ett antal 130 kV ställverk men även vid några 220 kV ställverk, är den enfasiga jordfelsströmmen väsentligt högre än 25 kA och också högre än den trefasiga kortslutningsströmmen. Detta innebär att en skärpning av åtgärder av teknisk men kanske främst av administrativ art nu aktualiseras. Tekniska åtgärder såsom reduktion av antalet direktjordade transformatorer, borttagande av Δ -kopplade lindningar etc. är närmare redovisade och analyserade i den separata rapporten BU-PM 5/89 ”Tänkbara tekniska åtgärder för begränsning av jordfelsströmmen i direktjordade nät”. En åtgärd av administrativ art är att fastställa att reduktionen av jordfelsströmmen måste få större betydelse vid den övergripande långsiktiga planeringen. Ett effektivare samarbete mellan berörda parter är därför nödvändigt. En något liberalare syn på jordfelsströmproblematiken kan vara motiverad i landets sydligaste delar i den mån jordningsbetingelserna kan betecknas som goda.”

Det som nämns ovan är att extra kostnaderna för tele- och lågspänningsnät idag normalt endast gäller lågspänningsnät i och med att telenätet numera inte är utfört med metalledare (se avsnitt 6.2.1).

Att utifrån systemplanering hålla nere jordfelsströmmarna är något som måste bestämmas i ett mycket tidigt skede, och mycket högt upp i organisationen, i utformningen av hela elsystemet. Det är inte möjligt att göra tekniska åtgärder enbart för en enskild anläggning eftersom förändringar i systemet kommer att påverka redan befintliga anläggningar och dess jordfelsströmmar. Detta illustreras i rekommendationen ovan *”En åtgärd av administrativ art är att fastställa att reduktionen av jordfelsströmmen måste få större betydelse vid den övergripande långsiktiga planeringen.”*

6.5.4 Exempel på skyddsåtgärder

Idag utförs skyddsåtgärder endast vid de tillfällen då höga beröringsspänningar uppmätts. Dessa åtgärder kommer normalt att skydda även andra anläggningar som utsätts för höga potentialskillnader.

⁶⁹ Uppföljning av P_k-71 utredningen, Omarbetade riktlinjer för 400 - 70 kV näten, mars 1990, Vattenfall, ISBN 91-7186-285-4.

⁷⁰ Uppföljning av P_k-71, punkt 2, sid 21.

Det finns olika sätt att reducera beröringsspänningar såsom följande⁷¹:

- Isolertransformator i lågspänningsnät
- Potentialstyrningsselektrod
- Separatjordning av distributionstransformator
- Försämra jordtag i Svenska kraftnäts nät
- Balansera jordtag
- Byt ut till icke elektriskt ledande material, t.ex. för belysningsstolpar.

Ovanstående exempel på skyddsåtgärder har som mål att hålla nere beröringsspänningen och inte den spänning som anläggningar kan utsättas för (obelastat spänningsvärde). Åtgärderna kommer i vissa fall att även påverka den spänning som anläggningar utsätts för.

Isolertransformator i lågspänningsnät

En isolertransformator har som uppgift att dela upp lågspänningsnätet i mindre delar, med begränsad utsträckning, genom att införa en fulltransformator med ett separat jordtag för sekundärsidan. Jordtag och därmed PEN-ledaren kommer, vid ett jordfel i högspänningsanläggningen, att anta en potential som gör att både beröringsspänningar och spänningar som anläggningar utsätts för begränsas inom detta mindre område.

Ett liknande tänkesätt kan gälla vid utformning av mellan- och lågspänningsanläggningar genom att låta en distributionstransformator mata ett mindre fysiskt utsträckt område. Distributionstransformatorn bör då vara separatjordad för att ha samma funktion som isolertransformatorn.

Potentialstyrningsselektrod

En potentialstyrningsselektrod används för att se till att markytan kring en utsatt del antar en potential snarlik den utsatta delens. Detta kommer att reducera beröringsspänningen men kommer normalt inte att förändra spänningen som andra anläggningar utsätts för.

Separatjordning av distributionstransformator

Denna åtgärd har samma mål som en isolertransformator. Vid samjordning av mellan- och lågspänning kommer potentialen hos PEN-ledaren att kunna anta en potential som mellanspänningens jordledare har och som kan ha en potential som avviker från den potential som marken i lågspänningsområdet antar vid ett jordfel.

Vid separatjordning kommer lågspänningens jordtag och PEN-ledare att anta en potential som leder till en lägre beröringsspänning men även en lägre påverkan på anläggningar i lågspänningssystemet.

De övriga åtgärderna såsom isolertransformator, separatjordning av distributionstransformator och/eller balansering av jordtag i lågspänningsnätet är

⁷¹ TR13-03-04, Avsnitt 8.2.

åtgärder som även bör kunna reducera spänningar på anläggningar och inte enbart beröringsspänningar. Dessa åtgärder är tillåtna enligt Elsäkerhetslagen⁷².

Försämra jordtag i Svenska kraftnäts nät

En försämring av ett enskilt jordtag i Svenska kraftnäts nät leder till att den spänningssättande strömmen vid detta jordtag reduceras vilket illustreras i **Figur 15**. Denna reduktion kommer att minska såväl den belastade spänningen som den obelastade spänningen och därmed hålla nere spänningspåkänningen på anläggningar. Denna åtgärd, på den störande anläggning är det som i första hand skall utföras enligt Elsäkerhetslagen⁷³.

Balansera jordtag

Genom att se till att man placerar flera jordtag ansluta till samma jordningssystem och utformar jordtagen med anpassad jordtagsresistans kan man se till att potentialen hos jordningssystemet blir sådan att beröringsspänningar och även spänningar som anläggningar utsätts för begränsas.

Byt ut till icke elektriskt ledande material, t.ex. för belysningsstolpar.

Denna åtgärd används för att hålla nere beröringsspänningen, men kommer normalt inte att reducera den spänning som anläggningar utsätts för.

Andra skyddsåtgärder

Det finns även andra skyddsåtgärder som kan vara aktuella men det bör då beaktas om det endast är beröringsspänningen som reduceras eller om även spänningspåkänningen på anläggningar påverkas.

6.6 PÅVERKAN AV KORTARE FRÅNKOPPLINGSTID

Enligt SS-EN 50522 finns möjlighet att tillåta högre beröringsspänningar vid de fall man kan garantera en kortare fränkopplingstid än kravet på 0,5 s enligt ELSÄK-FS 2022:1.

Om vi antar att möjligheten finns att utnyttja en fränkopplingstid på 0,2 s eller även 0,1 s så kommer den tillåtna beröringsspänningen att kunna öka från 225 V till 525 V eller upp till 655 V enligt

⁷² Elsäkerhetslag, Skyldighet i fråga om elektriska anläggningar, 14 §.

⁷³ Elsäkerhetslag, Skyldighet i fråga om elektriska anläggningar, 11 §.

Tabell 9⁷⁴.

Om man utgår från att det obelastade värdet är minst 16 ggr det belastade värdet, enligt avsnitt 6.4.1, så kan det obelastade värdet vara upp till 7,5 kV vid en fränkopplingstid på 0,2 s och ända upp till 9,1 kV vid en fränkopplingstid på 0,1 s.

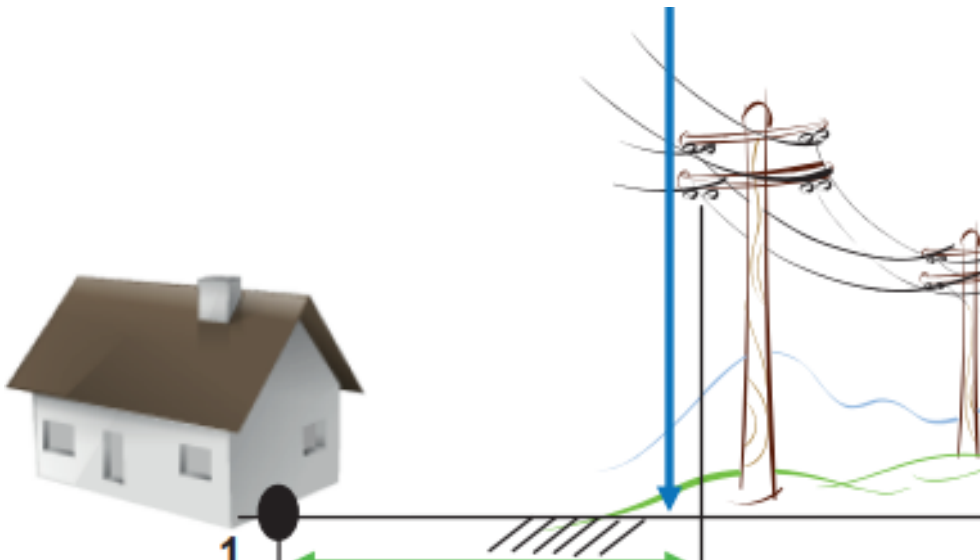
⁷⁴ SS-EN 50522, Tabell B.4.

7 Främmande potential i byggnad

Vid jordslutningar i högspänningsnätet förs höga strömmar ner i marken för att ledas tillbaka genom marken till matande transformator. Dessa strömmar ger upphov till en förhöjd markpotential som breder ut sig i cirklar runt området för jordslutningen. Utbredningen beror på många faktorer så som storlek på strömmen, ledningskonstruktion, markresistivitet, resistansen i jordtaget, med mera. Den förhöjda markpotentialen är högst vid felstället, normalt ledningsstolpens jordtag, och avtar med avståndet från jordtaget. Om ett lågspänningsnät är beläget nära en direktjordad högspänningsledning, finns risk för farliga berörings- och stegspänningar hos elnätskunder som följd av förhöjd markpotential vid jordfel på högspänningsledningen. Områden med tätare bebyggelse har en mer homogen markpotential till följd av metallföremål i marken som jämnar ut potentialen, vilket gör beröringsspänningarna i området svårbestämda. ELSÄK-FS 2022:1 anger gränsvärdet för beröringsspänning som följd av förhöjd markpotential till 220 V med 1 k Ω mätresistans.

7.1 SKADLIG POTENTIAL

En hög potential, som kan vara skadlig för utrustning, installationer och komponenter, kan uppstå utanför en byggnad och föras in i byggnaden via ledande delar, så som vattenrör och andra ledande försörjningssystem, där de kan orsaka skadliga potentialskillnader. Detta kan bli fallet vid fel i yttre nät, till exempel fel i matande högspänningsnät, jordfel i distributionsnätet för lågspänning eller vid PEN-ledarbrott i distributionsnätet, se **Figur 30**.



Figur 30: Jordfel på högspänningsledning nära byggnad, med risk att föra in främmande potential i byggnaden.

7.2 RISK ATT FÖRA IN ANNAN POTENTIAL I BYGGNAD

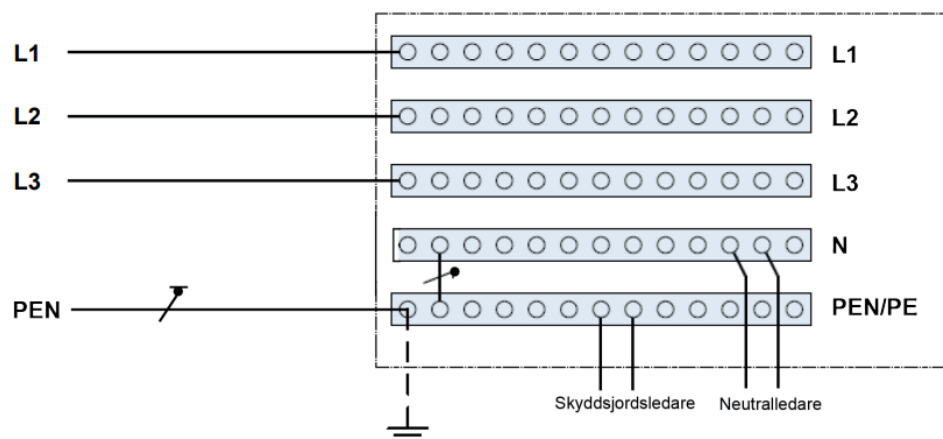
Termen överförd jordpotential avser spänningen-till-jord som kommer att uppträda på ledande delar som ett resultat av att matande systems

jordningselektrod har en högre markpotential än den normala jordpotentialen. De största spänningarna utvecklas vanligtvis av jordfelsströmmar som återgår till den matande källan först genom jord sedan via det matande nätets stationsjord.

Ett vanligt exempel är ett jordfel från en ledare som försörjer en transformatorstations primärsida till stationens jordnät, som används för jordning av transformatorns sekundära neutralpunkt. Om detta jordningsnät inte är anslutet till högspänningssystemets jord, kan det bli en betydande spänningsökning över jord eftersom felströmmen flyter in i jordelektroden. Den förhöjda markpotentialen, överförs till ledande material förlagda i mark. Ledande material i mark som kan föra in skadlig potential i byggnad är t ex; markkablar så som kopparkablar (elkablar/kraftkablar och telekablar), vatten- och gasledningsrör, vilka påverkas av den markpotential som marken antar vid en jordslutning. Det finns även i nya byggnader risk för att t ex ett armeringsjärn hamnat så att det kan leda in främmande potential i byggnaden. Detta genom direkt påverkan av annan markpotential än jordsystemets.

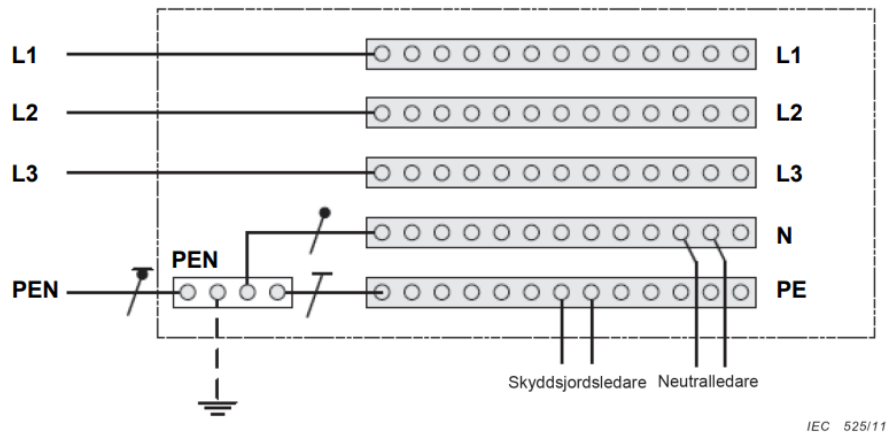
7.3 BYGGNADENS JORDNING

Inkoppling av jord (skyddsjordledare, skyddsutjämningsledare, etc.) ska enligt SEK handbok 444 göras enligt följande. I en byggnad ska huvudcentralen kopplas in enligt **Figur 31** eller **Figur 32**.



Figur 54.1a – Exempel 1

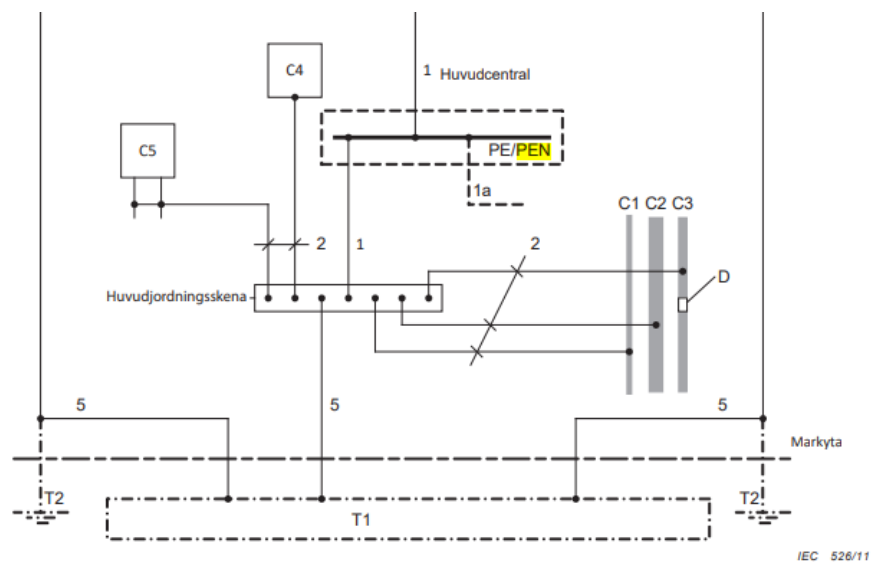
Figur 31: Inkoppling av huvudcentral utan separat PEN-skena (från SEK handbok 444).



Figur 54.1b – Exempel 2

Figur 32: Inkoppling av huvudcentral med separat PEN-skena (från SEK handbok 444).

I nyare anläggningar finns även en huvudjordningsskena till vilka utifrån inkommande ledande delar kopplas, se **Figur 33**.



Figur 33: Byggnad med huvudjordningsskena, där PE/PEN är skena i huvudcentral, C1-C3 är främmande ledande element, såsom vattenrör eller gasrör, och T1 är jordelektrod (från SEK handbok 444).

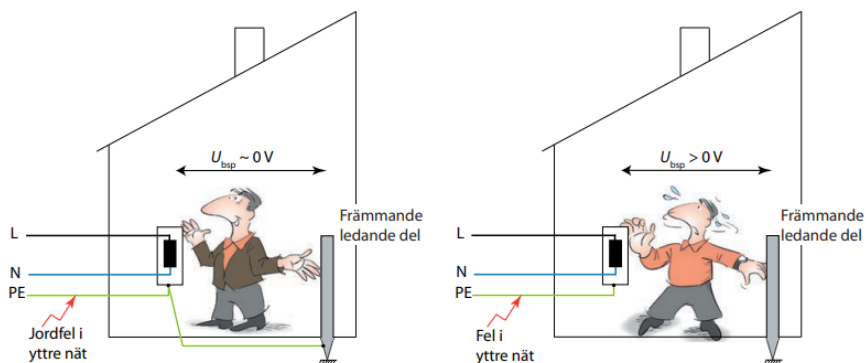
7.4 BERÖRINGSSPÄNNING

Beröringsspänningar och skyddsutjämning i byggnader beskrivs i SEK Handbok 413 Utgåva 4, Bilaga A.

Farliga beröringsspänningar, se **Figur 34**, kan uppkomma i en elinstallation av olika orsaker, och speciellt i elinstallationer där skyddsutjämning inte utförts. Ett isolationsfel i det matande nätet eller inom byggnadens installation, eller ett jordfel med markpotentialhöjning i näraliggande direktjordat högspänningssystem, kan leda till beröringsspänningar långt över 50 V, eftersom felströmmen ger upphov till ett spänningsfall i den matande ledningens skydds- eller PEN-ledare.

- Skyddsledarskenan och därmed alla skyddsjordade delar i installationen får därför en potential skild från den lokala jordpotentialen intill dess att felet fränkopplats.
- Inträffar felet i distributionsnätet tillåts fränkopplingstiden vara längre än 5 s, vilket medför en ökad risk.
- Elinstallationsreglerna anger inte någon övre tidsgräns, men fränkopplingstiderna kan vara 10 s - 20 s.

Fel i elinstallationen ska snabbt och automatiskt fränkopplas.

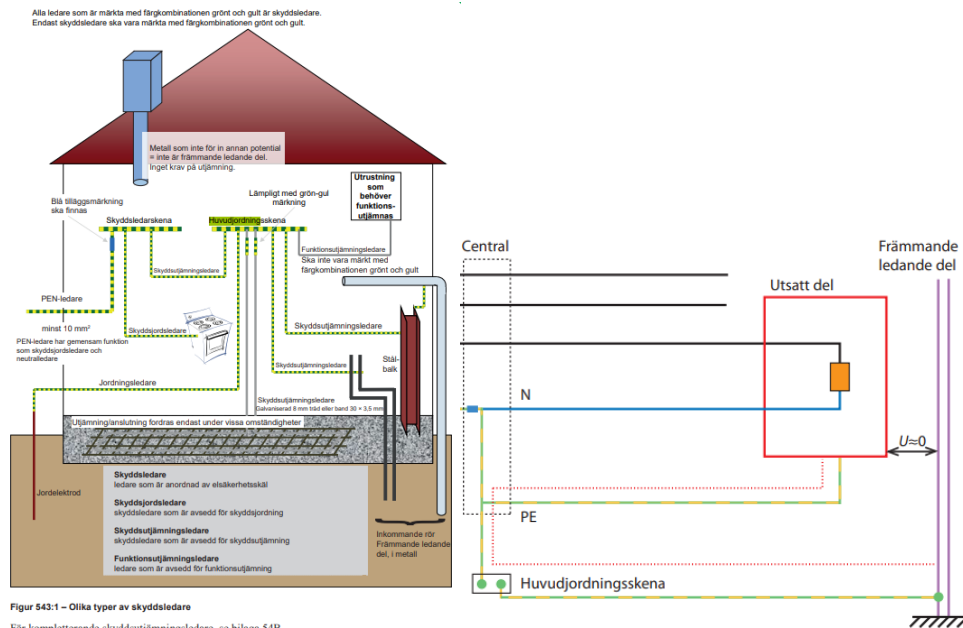


Figur 34: Beröringsspänning i byggnad, med skyddsutjämning (tv) och utan skyddsutjämning (th).

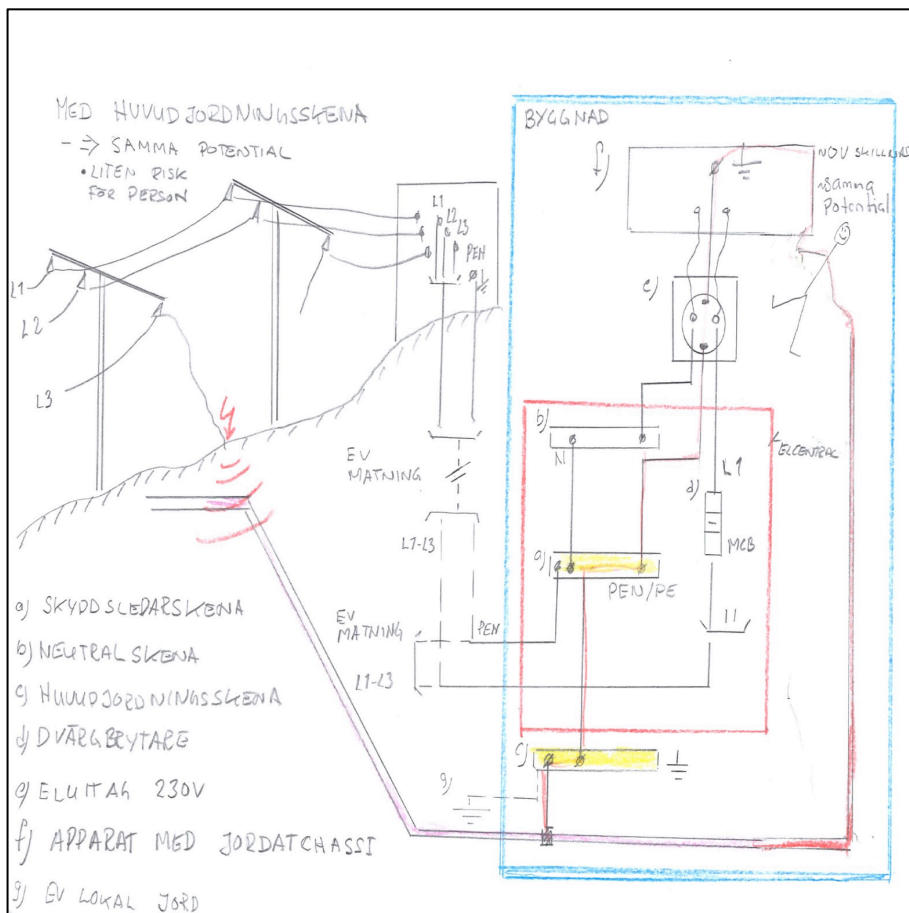
Vid ett fel mellan en fasledare och en utsatt del eller i en strömkrets eller inom en apparat ska en skyddsapparat, eller jordfelsbrytare, automatiskt fränkoppla matningen till fasledaren. Vid 230 V fasspänning ska felet fränkopplas inom högst 0,4 s för gruppledningar upp till och med 32 A. För alla andra ledningar ska felet fränkopplas inom högst 5 s. Fränkopplingstiden får vara längre än 0,4 s (230 V) om inte felströmmen orsakar farlig beröringsspänning, högre än 50 V, på utsatta delar som omfattas av kravet på längsta fränkopplingstid 0,4 s.

7.5 ANLÄGGNING MED SKYDDSUTJÄMNING

I en byggnad utförd med skyddsutjämning, se **Figur 35** och **Figur 36**, ska inga skadliga potentialskillnader (beröringsspänningar) kunna uppkomma vid fel i yttre nät, dvs. skyddsutjämningen ska ge skydd vid fel i yttre nät. Det är dock bara relativt nyproducerade byggnader som är utförda med sådan skyddsutjämning. För dessa byggnader med skyddsutjämning kan det dock bli så att en spänning förs in via jord och neutralledare med en hög potential som kan skada t ex elektronikutrustning.



Figur 35: Byggnad med skyddsutjämning (tv) och motsvarande schema (th), där alla ledande element är anslutna till byggnadens huvudjordningsskena (från SEK Handbok 444, respektive 413).



7.6 NYA ANLÄGGNINGAR

Nya anläggningar ska utföras enligt Elinstallationsreglerna SS 436 40 00, se nedan.

"413.1.1.1 Frånkoppling av matning

Skyddsapparat (överströmsskydd etc.) som ger skydd mot indirekt beröring skall automatiskt frånkoppla matning till krets eller utrustning när ett fel uppstår. Ett fel mellan spänningsförande del och utsatt del, skyddsledare eller PEN-ledare i kretsen eller utrustningen får inte ge en beröringsspänning som överstiger 50 V växelspanning eller 120 V likspanning under så lång tid att personfara uppstår vid samtidig beröring av åtkomliga ledande delar. Oberoende av den förväntade beröringsspänningen får frånkopplingstiden i vissa fall i TN-system vara längre, se 413.1.3.5. Skyddsutjämning tillämpas som del i säkerheten för att uppfylla kravet på farlig beröringsspänning på max 50V under 0,4s om det uppstår ett fel, t ex PEN-ledarbrott eller ett isolationsfel."

"411.3.1.2 Skyddsutjämning

I varje byggnad ska främmande ledande delar som förs in utifrån anslutas till huvudjordningsskenan med skyddsutjämningsledare.

ANM

– Följande är exempel på ledande delar som kan vara främmande ledande delar och därmed kan behöva anslutas till huvudjordningskenan:

– rörledningar av metall som förs in i byggnaden, till exempel gas- och vattenledningar

– berörbar metallarmering i betong

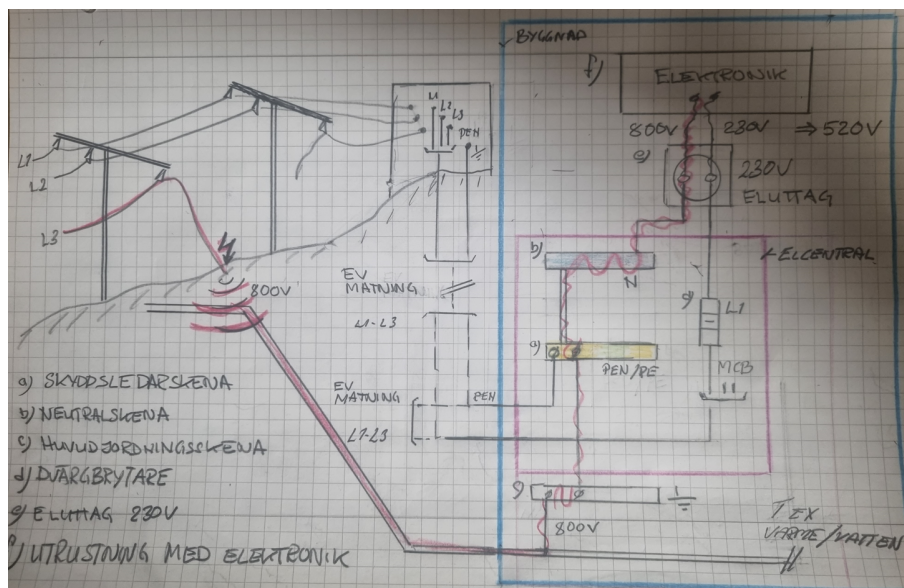
– ledande delar som är en del av byggnaden.

Främmande ledande delar som förs in i byggnaden ska förbindas till skyddsutjämningen nära det ställe där de förs in i byggnaden. Metallrör som är försedda med isolerstycken där de förs in i byggnaden behöver inte anslutas till huvudjordningskenan. Skyddsutjämning ska även omfatta metallmantlar på kablar för telekommunikation. Detta förutsätter ett samråd med kablarnas innehavare."

7.7 FÖRHÖJD POTENTIAL I NEUTRALLEDAREN

Telekablar av koppar, vattenledningsrör, och liknande kan påverkas av den potential som marken antar vid en jordslutning. Skulle PEN-ledaren i stället för att ha en nollpotential få en mycket högre potential då kommer apparater att utsättas för en överspänning alternativt så har en skadlig potential förts in i byggnaden. Antag att det vid 130 kV med trästolpkonstruktion och långt mellan jordelektrodena, bli ett avbrott i en linjeledare så att den kommer i kontakt med jord. Då skulle ledande material som passerar genom denna förhöjda markpotential också anta samma potential och kunna föra in den i en byggnad, t ex en bostad. Om byggnaden inte är skyddsutjämnad, får man förlita sig på att skydden är så snabba som krävs.

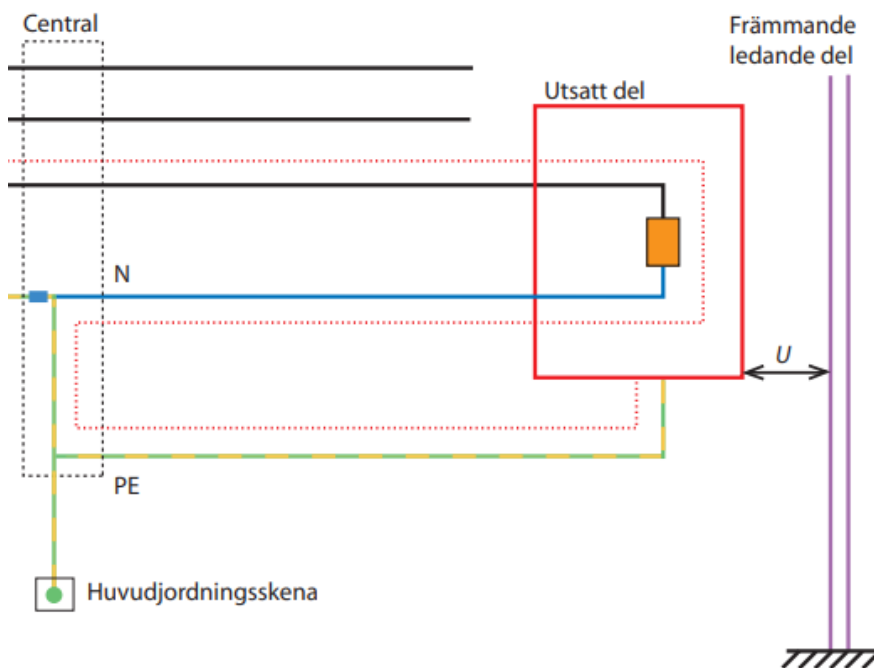
Är anläggningen skyddsutjämnad kan en överspänning uppstå i neutralledaren vilket kan vara mycket ogynnsamt, t o m skadligt, för speciellt elektronikutrustning, se **Figur 37**.



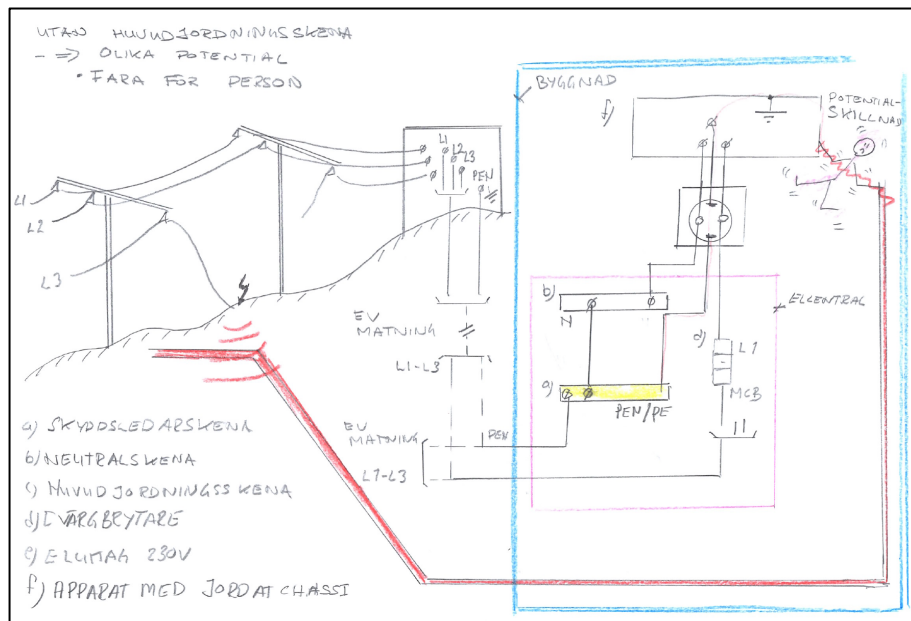
Figur 37: Främmande potential förs in i byggnad via t ex ett vattenledningsrör i samband med jordfel och kan utgöra en risk för skada på anslutna apparater.

7.8 ANLÄGGNING UTAN SKYDDsutJÄMNING

I en byggnad utan skyddsutjämning, se **Figur 38** och **Figur 39**, kan en skadlig potentialskillnad (beröringsspanning) uppstå vid fel i yttre nät. Man får då förlita sig på att det allmänna distributionsnätet bryter bort felet inom föreskriven tid.



Figur 38: Farlig potential i byggnad utan potentialutjämning (från SEK Handbok 413).



Figur 39: Byggnad utan skyddsutjämning med inkommande vattenrör ger en potentialskillnad mellan skyddsjordade objekts utsatta delar och vattenröret, som kan innebära fara för elchock.

7.9 SKYDDSÅTGÄRDER ENLIGT ELINSTALLATIONSREGLERNA

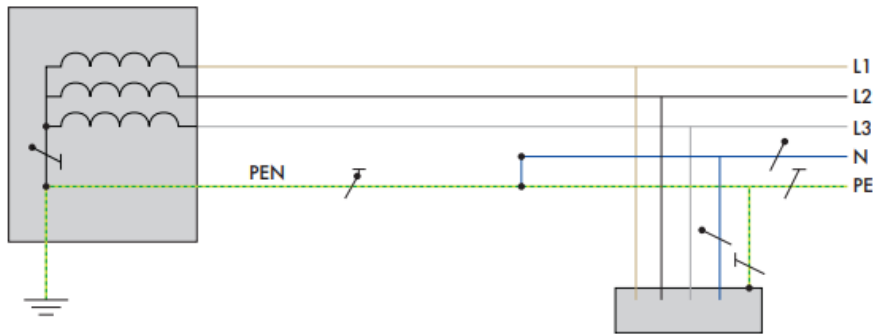
Enligt elinstallationsreglerna SS 436 40 00 ska ett antal skyddsåtgärder utföras. Skydd genom automatisk fränkoppling av matning ska ske enligt nedanstående tabell.

Tabell 11: Beräknade värden för den tillåtna beröringsspänningen U_{Tp} som funktion av felets varaktighet t_f (värden på U_{Tp} är avrundade till 5 V) (källa SS 436 40 00)

Tabell 41.1 – Maximala fränkopplingstider

System	50 V < $U_0 \leq 120$ V		120 V < $U_0 \leq 230$ V		230 V < $U_0 \leq 400$ V		$U_0 > 400$ V	
	s		s		s		s	
	AC	DC	AC	DC	AC	DC	AC	DC
TN	0,8	*	0,4	1	0,2	0,4	0,1	0,1

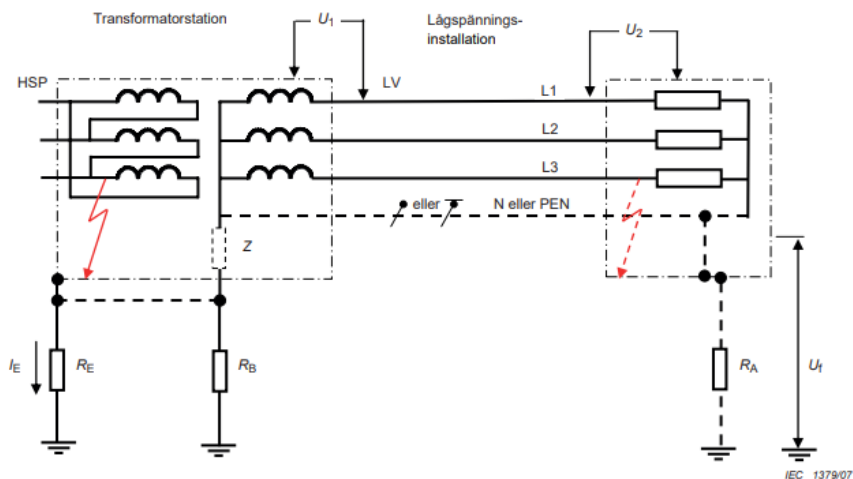
I ett flerfasigt TN-system är systemreferensledaren den ledare som förbinder jordelektroden med neutralpunkten, se **Figur 40**.



Figur 40: TN-system med markerad systemreferensledare, mellan transformatorns neutralpunkt och stationsjord.

I TN-system är jordningens funktion i installationen beroende av en pålitlig och säker anslutning av PEN- och skyddsjordsledare till jord. Där jordningen normalt tillhandahålls från ett allmänt distributionsnät.

Vid ett fel till jord på en transformatorstations högspänningssida kan kraftfrekvent felpänning och kraftfrekventa spänningspåkänningar påverka lågspänningsinstallationen, se **Figur 41** och **Tabell 12**.



Figur 41: Kopplingsschema och skisser för möjliga jordanslutningar i en transformatorstation och lågspänningsinstallation samt de överspänningar som kan uppstå vid fel.


Där jordningssystem för hög- och lågspänning är belägna i närheten av varandra monteras de enligt någon av följande två praxis:

- Sammankoppling av jordningssystemen för högspänning (R_E) och lågspänning (R_B).
- Separation av jordningssystemen för högspänning (R_E) och lågspänning (R_B).

Den vanligaste metoden är att sammankoppla jordningssystemen.

Jordningssystemen för hög- och lågspänning ska sammankopplas om lågspänningssystemet är helt avgränsat inom jordningssystemet för högspänning (se SS-EN 50522 och SS-EN IEC 61936-1).

Tabell 12: Kraftfrekventa spänningspåkänningar och kraftfrekventa felspänningar i lågspänningssystem (Tabell 44.A1 i SS 436 40 00), där U_0 är linjespänningen till neutral (230 V +/-10%)

Typ av systemjordning	Typer av jordanslutning	U_1	U_2	U_f
TT	R_E och R_B anslutna	U_0 *)	$R_E \times I_E + U_0$	0 *)
	R_E och R_B separerade	$R_E \times I_E + U_0$	U_0 *)	0 *)
TN	R_E och R_B anslutna	U_0 *)	U_0 *)	$R_E \times I_E$ **)
	R_E och R_B separerade	$R_E \times I_E + U_0$	U_0 *)	0 *)
IT	R_E och Z anslutna	U_0 *)	$R_E \times I_E + U_0$	0 *)
	R_E och R_A separerade	$U_0 \times \sqrt{3}$	$R_E \times I_E + U_0 \times \sqrt{3}$	$R_A \times I_h$
	R_E och Z anslutna	U_0 *)	U_0 *)	$R_E \times I_E$
	R_E och R_A sammankopplade	$U_0 \times \sqrt{3}$	$U_0 \times \sqrt{3}$	$R_E \times I_E$
	R_E och Z separerade	$R_E \times I_E + U_0$	U_0 *)	0 *)
	R_E och R_A separerade	$R_E \times I_E + U_0 \times \sqrt{3}$	$U_0 \times \sqrt{3}$	$R_A \times I_d$
*) Behöver inte övervägas. **) Se avsnitt 442.2.1.  Med ett pågående jordfel i installationen				

Den beräknade felspänningen U_f i **Tabell 12** som uppstår i lågspänningssystem mellan utsatta delar och jord ska inte överstiga en skadlig nivå. I ett TN-system där R_E och R_B är sammankopplade, kan deras anslutning till ett utbrett jordningssystem enligt SS-EN 50522, anses vara en säkerhetsåtgärd mot skadliga felspänningar. Ett utbrett jordningssystem är ett system där de lokala jordningssystemen sammankopplats. Närheten mellan dessa jordningssystem säkerställer att det inte uppstår farliga beröringsspänningar. Sådana system leder till en delning av jordslutningsströmmen på ett sätt som resulterar i en minskning av potentialstegringen på det lokala jordningssystemet. Ett sådant system kan sägas bilda en kvasipotentialutjämningsyta. I installationer utanför ett utbrett jordningssystem ska dessutom PEN-ledaren jordas på minst två ställen. Förekomsten av ett utbrett jordningssystem kan avgöras genom mätningar eller beräkning av typiska system. Typiska exempel på utbredda jordningssystem finns i stadskärnor, i tätbebyggda områden samt i industriområden med distribuerad låg- och högspänningssystem. Åtgärder för att uppfylla fordringarna ovan utförs normalt i den del av installationen som tillhör det allmänna distributionsnätet.

Storleken och varaktigheten hos kraftfrekventa spänningspåkänningar (U_1 och U_2) som beräknats enligt **Tabell 12** och orsakas av en jordslutning i högspänningssystemet men som uppstår i lågspänningssystemet ska inte överstiga de värden som anges i **Tabell 13**.

Tabell 13: Tillåtna kraftfrekventa spänningspåkänningar (Tabell 44.A2 i SS 436 40 00)

Tabell 44.A2 – Tillåtna kraftfrekventa spänningspåkänningar

Jordfelets varaktighet i högspänningssystemet t	Tillåten kraftfrekvent spänningspåkänning inom materiel i lågspänningsinstallationer U
>5 s	$U_0 + 250 \text{ V}$
≤5 s	$U_0 + 1200 \text{ V}$
I system utan neutralledare är U_0 lika med huvudspänningen.	
ANM 1 – Den första raden i tabellen gäller för system som har långa fränkopplingstider, t ex induktansjordade högspänningsinstallationer. Den andra raden i tabellen gäller för högspänningsinstallationer som har kort fränkopplingstid, t ex system med låg impedans till jord. Båda raderna i tabellen är tillämpliga vid val av isolationen hos lågspänningsmaterielen med hänsyn tagen till tillfälliga överspänningar (se SS-EN IEC 60664-1).	
ANM 2 – I ett system där neutralledaren är ansluten till transformatorstationens jordningssystem, kan en tillfällig kraftfrekvent överspänning förväntas, även över en sådan isolering som inte är i en jordad kapsling, om materielen är placerad utanför byggnaden.	

Kapitel 41 i elinstallationsreglerna hanterar skydd mot elchock i elinstallationer. Kapitlet är baserat på SS-EN 61140, som är en grundläggande säkerhetsstandard vad gäller skydd av personer och husdjur. SS-EN 61140 är avsedd att ange de grundläggande principerna och fordringarna som är allmänna för elinstallationer och elmateriel samt nödvändiga för deras samordning. Den grundläggande regeln för skydd mot elchock, enligt SS-EN 61140, är att farliga spänningsatta delar inte ska vara åtkomliga och åtkomliga ledande delar ska inte anta en farlig spänning, vare sig vid normal drift eller vid ett första fel.

7.10 KONKLUSION AV ELINSTALLATIONSREGLERNA

Inom en byggnad kan man minska skaderisken genom att koppla alla inkommande ledande delar, så som ledningar för vatten, gas eller fjärrvärme, och inkommande kraft- och signalkablar till huvudjordningsskenan med ledare som har låg impedans.

Följande ledare ska då anslutas till huvudjordningsskenan:

- skyddsutjämningsledare
- jordningsledare
- övriga skyddsledare
- ledare för funktionsjordning, om sådana används.

Det är inte nödvändigt att ansluta varje skyddsledare direkt till huvudjordningsskenan om de är anslutna till denna skena via andra skyddsledare, t ex via centralens skyddsledarskena. Överspänningsskydd skulle kunna installeras. Det är dock inte nödvändigt att installera överspänningsskydd för enskilda bostäder där elinstallationens värde är mindre än 5 gånger kostnaden för överspänningsskyddet som ska skydda installationen. Jordfelsbrytare är att rekommendera.

Ansvaret för överensstämmelse med fordringarna ligger främst på installatören/ägaren/innehavaren av transformatorstationen, vilka även behöver uppfylla fordringarna i SS-EN 50522 och SS-EN IEC 61936-1. Därför behöver beräkning av U_1 , U_2 och U_f normalt inte göras av den som installerar lågspänningssystemet.

7.11 ÖVERSPÄNNINGSKATEGORIER

Elprodukter ska beroende på var de är monterade klara (testas för) olika spänningskategorier efter vad de kan förväntas utsättas för. Den enklaste klassen är kategori 1, som omfattar de apparater som man sätter i de allmänna vägguttagen om 230 V. En spänningspåverkan på en apparat på upp mot 800 V ska normalt inte ge en ökad risk för elchock för person eller skada på egendom

Figur 42 visar delar ur standarden för klassificering av överspänningar, med avseende på stöthållfasthet i lågspänningssystem.

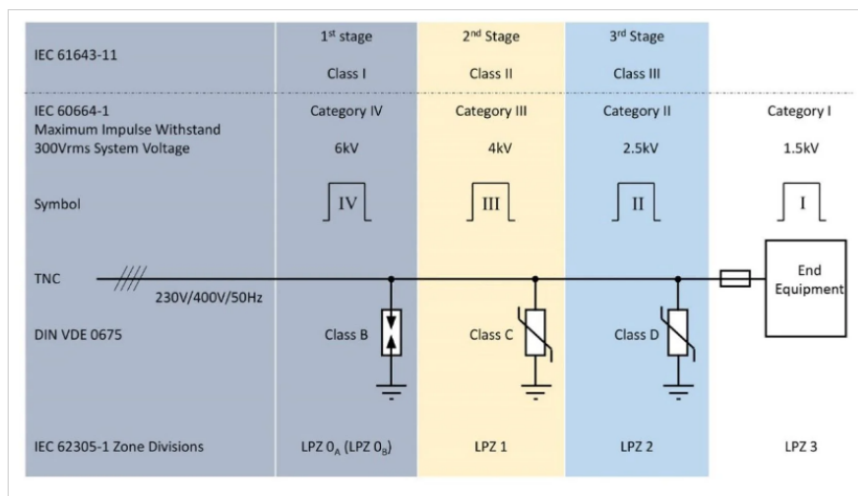


Figure 2. IEC 60664-1 OVC equivalence to IEC 62305-1 zones and IEC 61643-11 protective device classes

Figur 42: Överspänningsklasser (kategorier) för anläggningar och apparater i lågspänningssystem.

60664-1 INSULATION COORDINATION FOR EQUIPMENT WITHIN LOW-VOLTAGE SYSTEMS – Part 1: Principles, requirements, and tests

- Equipment of overvoltage **category IV** is for use at the origin of the installation.
NOTE 1 Examples of such equipment are electricity meters and primary overcurrent protection equipment.
- Equipment of overvoltage **category III** is equipment in fixed installations and for cases where the reliability and the availability of the equipment is subject to special requirements.
NOTE 2 Examples of such equipment are switches in the fixed installation and equipment for industrial use with permanent connection to the fixed installation.
- Equipment of overvoltage **category II** is energy-consuming equipment to be supplied from the fixed installation.
NOTE 3 Examples of such equipment are appliances, portable tools and other household and similar loads.
- Equipment of overvoltage **category I** is equipment for connection to circuits in which measures are taken to limit transient overvoltages to an appropriately low level. These measures shall ensure that the temporary overvoltages that could occur are sufficiently limited so that their peak value does not exceed the relevant rated impulse voltage of table 1.

NOTE 4 Examples of such equipment are those containing electronic circuits protected to this level.

NOTE 5 Unless the circuits are designed to take the temporary overvoltages into account, equipment of overvoltage category 1 cannot be directly connected to the supply mains.

Kraven på stötspänningstålighet för de olika kategorierna visas i Se Tabell 14

Tabell 14: Krav på tåld stötspänningsnivå för olika överspänningskategorier för lågspänning (värdena för svensk lågspänning har markerats)

Table 1 – Rated impulse voltage for equipment energized directly from the low-voltage mains

Nominal voltage of the supply system ¹⁾ based on IEC 60038 ²⁾		Voltage line to neutral derived from nominal voltages a.c. or d.c. up to and including	Rated impulse voltage ²⁾			
Three phase	Single phase		Overvoltage category ⁴⁾			
V	V	V	I V	II V	III V	IV V
		50	330	500	800	1 500
		100	500	800	1 500	2 500
	120-240	150 ⁵⁾	800	1 500	2 500	4 000
230/400	277/480	300	1 500	2 500	4 000	6 000
400/690		600	2 500	4 000	6 000	8 000
1 000		1 000	4 000	6 000	8 000	12 000

¹⁾ See annex B for application to existing different low-voltage mains and their nominal voltages.
²⁾ Equipment with these rated impulse voltages can be used in installations in accordance with IEC 60364-4-44.
³⁾ The / mark indicates a four-wire three-phase distribution system. The lower value is the voltage line-to-neutral, while the higher value is the voltage line-to-line. Where only one value is indicated, it refers to three-wire, three-phase systems and specifies the value line-to-line.
⁴⁾ See 2.2.2.1.1 for an explanation of the overvoltage categories.
⁵⁾ Nominal voltages for single-phase systems in Japan are 100 V or 100-200 V. However, the value of the rated impulse voltage for the voltages is determined from columns applicable to the voltage line to neutral of 150 V (See annex B)

7.11.1 Konklusion av spänningsklasser

De produkter som kan förväntas vara fast installerade eller inkopplade till den fasta elinstallationen ska klara en spänningskategori om minst klass II, men även om apparaten skulle vara klass I, dvs 1500 V så klarar apparaten den tänkta högsta tillåtna spänningen vilket är strax under 800 V. Därför borde risken för att en påverkan av en apparat, så att fara för elchock eller skada på egendom uppstår, inte öka gällande denna aspekt.

7.12 APPARATERS TÅLIGHET I DEN FASTA INSTALLATIONEN

Det är osannolikt att apparater i den fasta elinstallationen kommer att spänningssättas så att farlig beröringsspänning uppstår även om en potential på närmare 800 V skulle uppstå i neutralledaren. Det finns däremot en risk att apparaterna inte klarar överspänningen. En mekanisk strömställare kommer sannolikt att klara en sådan överspänning, men för en dimmer, timer eller liknande är läget ett annat. Där finns en risk att en sådan påverkan minskar livslängden på apparaten eller gör så att den slutar att fungera.

7.12.1 Strömställare

Nedanstående är saxat från standarden för strömställare.

Standard för strömställare SVENSK STANDARD SS-EN 60669-1 Strömställare för fasta installationer (installationsströmställare)

i hushåll och liknande – Del 1: Allmänna fordringar säger:

6 Ratings

6.1 Rated voltage

Preferred values of rated voltage are 130 V, 220 V, 230 V, 240 V, 250 V, 277 V, 380 V, 400 V, 415 V or 440 V. Switches with a rated voltage of 250 V shall be considered as switches for a distribution system 230/400 V.

16.2 Test for measuring the insulation resistance

The insulation resistance is measured with a DC voltage of approximately 500 V, the measurement being made not more than 1 min after application of the voltage.

16.3 Electric strength test

The insulation is subjected for 1 min to a voltage of substantially sine wave form, having a frequency of 50 Hz or 60 Hz.

*The test voltage applied shall be 1 250 V for ratings not exceeding 130 V or **2 000 V for ratings greater than 130 V.***

Tabell 15: Testspänning och minimum isolationsresistans för verifiering av elektrisk hållfasthet.

Insulation to be tested	Minimum value of insulation resistance MΩ	Test voltage V	
		Switches having a rated voltage not exceeding 130 V	Switches having a rated voltage exceeding 130 V
1 Between all poles connected together and the body, with the switch in the "on" position.	5	1 250	2 000
2 Between each pole in turn and all other poles connected to the body, with the switch in the "on" position.	2	1 250	2 000
3 Between the terminals which are electrically connected together when the switch is in the "on" position, the switch being in the "off" position:			
– normal/mini-gap construction;	2	1 250	2 000
– micro-gap construction;	2	500 (note 1)	1 250 (note 2)
– semiconductor switching devices.	(note 3)	(note 3)	(note 3)
4 Between metal parts of the mechanism, when insulated from live parts, and			
– live parts;	5	1 250	2 000
– metal foil in contact with the surface of the knob or a similar actuating member;	5	1 250	2 000
– the key of key-operated switches, if insulation is required (see 10.6);	5	1 250	2 000
– the point of anchorage of the cord, chain or rod of switches operated by such means, if insulation is required (see 10.6);	5	1 250	2 000
– accessible metal parts, including fixing screws, of the main part, if insulation is required (see 10.5).	5	1 250	2 000
5 Between any metal enclosure and metal foil in contact with the inner surface of its insulating linings, if any (note 4).	5	1 250	2 000
6 Between live parts and accessible metal parts, if the metal parts of the mechanism are not insulated from live parts.	–	2 000	3 000
7 Between live parts and parts of the mechanism			
– if the latter parts are not insulated from accessible metal parts (see 10.5);	–	2 000	3 000
– if the latter parts are not insulated from the point of contact with a removable key or operating cord, chain or rod (see 10.6).	–	2 000	3 000
8 Between live parts and metal knobs, push-buttons and the like (see 10.2).	–	2 500	4 000

NOTE 1 This value also applies for the electric strength test after normal operation.

NOTE 2 For switches having a rated voltage up to and including 250 V, this value is reduced to

- 750 V for the electric strength test after resistance to humidity;
- 500 V for the electric strength test after normal operation.

NOTE 3 Tests for the verification to the "off" position of semiconductor switching devices according to item 3 are under consideration.

NOTE 4 This test is only made if any insulation is necessary.

NOTE 5 In the following country the test of item 8 is conducted between live parts and metal knobs, push-buttons and metal foil in contact with the outer surface of accessible external parts and operating keys of insulating material. The test voltage for switches with a rating voltage exceeding 130 V is to be 3 000 V: AU

7.12.2 Fast installerade apparater med elektronik

Elektroniska strömställare provas enligt i standarden angivna spänningar, vilket borde vara 250 V då tillåten systemspänning är 230 V ±10%. Man provar dem sedan med en överspänning på 250 V +10% dvs. 275 V. Det är den överspänning de ska klara. De kan klara högre spänningar men de provas inte för det.

7.12.3 Konklusion apparater i den fasta installationen

Mekaniska strömställare provas enligt standardens angivna spänningar, vilket borde vara 250 V då tillåten systemspänning är 230 V ±10%.

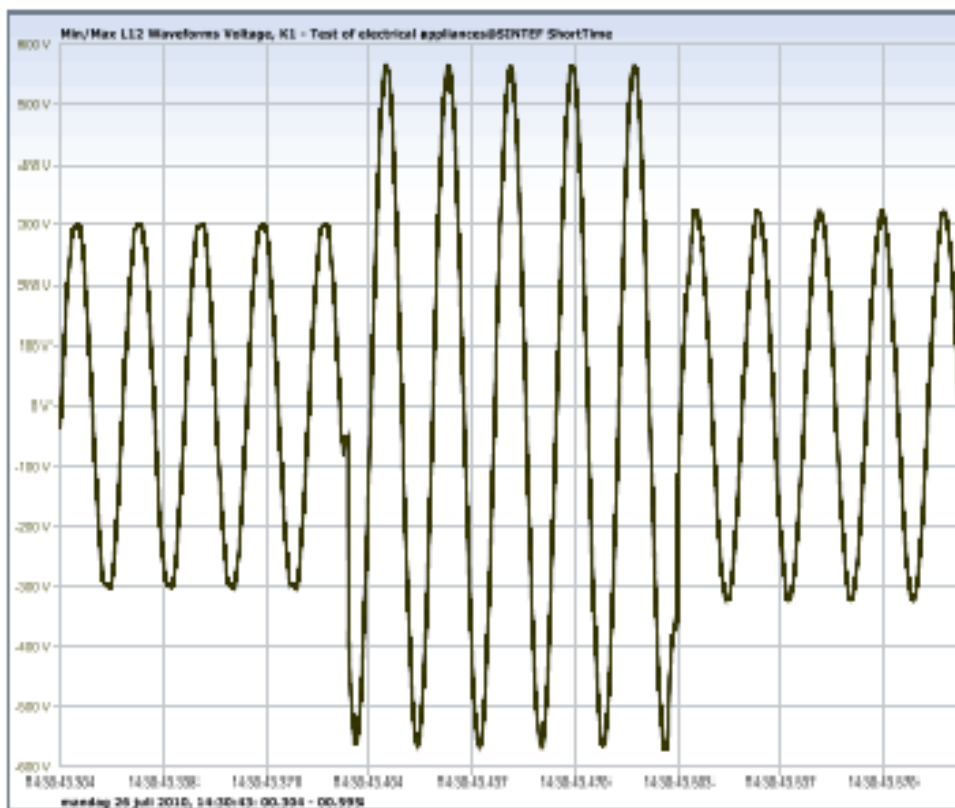
Man provar hållfastheten på apparaterna med 2 000 V så att inga överslag inträffar, så att apparaten inte blir spänningsförande, och så att ingen brand uppstår

Elektroniska strömställare funktionsprovas inte för större överspänning än 10%.

7.13 APPARATER ANSLUTNA VIA STICKPROPP

Det finns en risk att apparater anslutna via stickpropp tar skada eller slutar att fungera redan vid låga överspänningar. SINTEF m fl beskriver testresultat i en CIRED-rapport⁷⁵, som refereras nedan.

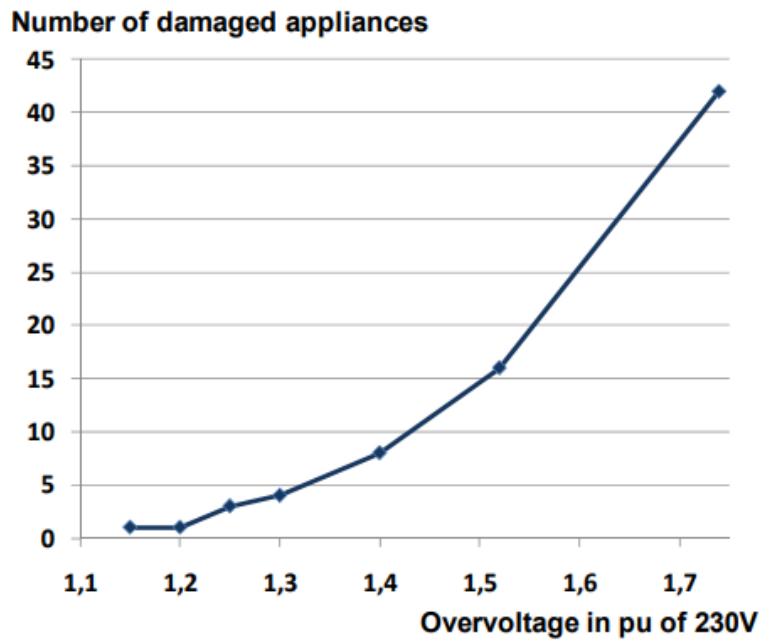
60 vanliga elektriska apparater testades. Överspänningar om 15, 20, 25, 30, 40, 53, och 74 procent testades för varaktigheter om 100 ms, 1 s, 10 s, 60 s, 10 minuter och 30 minuter. För varje överspänningsnivå genomlöptes alla exponeringstiderna. Mellan de olika exponeringstiderna återställdes spänningen till märkspänning. **Figur 43** visar hur en exponering av en spänning på 400 V rms under 100 ms såg ut.



Figur 43: Test med 400 V rms under 100 ms.

Figur 44 sammanfattar ackumulerat antal havererade eller icke-fungerande produkter som funktion av ökad testspänning. Resultaten av samtliga test redovisas i **Tabell 16**, där gröna fält markerar nöjaktig funktion, orange fält markerar icke nöjaktig funktion, och röda fält markerar haveri. Siffran i respektive fält anger tiden till felfunktion eller haveri.

⁷⁵ Seljeseth, H.; Rump, T; Haugen, K: "Overvoltage immunity of Electrical Appliances – Laboratory Test Results from 60 Appliances", CIRED, Frankfurt, 6-9 June, 2011, Paper 946.



Figur 44: Ackumulerat antal havererade apparter som funktion av överspänningen.

Tabell 16: Testresultat med tid till haveri, eller utebliven funktion, för olika överspänningsnivåer.

Type of electric appliance	Overvoltage (rms) test level in % of 230V						
	115	120	125	130	140	152	174
CD player			10min				
circular saw	25min						
DVD player							1s
DVD player							0.1s
DVD player	20min	10s	25min				
home ent.system							1s
kitchen mixer							1s
microwave oven							10min
microwave oven					4min	3min	
PC							1s
PC							2s
PC							1s
PC							0.1s
PC							1s
PC							0.1s
PC							50s
PC							
PC							0.1s
PC monitor							
PC monitor							10s
PC monitor							10s
printer							10s
printer							27min
printer							8s
printer							0.1s
printer							5min
printer							
printer							
printer							
radio				3min			
radio			10min				
radio				6min			
radio					20min		
radio				6min			
radio				10min			
stereo system					20min		
TV							10s
TV						30s	
TV						25min	
TV				0.1s	0.1s	0.1s	
TV				0.1s	0.1s	0.1s	
TV							0.1s
TV				0.1s	0.1s	0.1s	
TV							0.1s
TV							1min
TV							20s
TV							0.1s
vacuum cleaner	15min	8min	6min	4min	3.5min	7.5min	0.1s
vacuum cleaner		8min	7min	6min	5min	3min	
vacuum cleaner							
vacuum cleaner							
vacuum cleaner						1.5min	
vacuum cleaner							
vacuum cleaner							
VHS player						20min	
VHS player							
VHS player							
VHS player						25min	

	The electrical appliance is working during and after the test at this rms voltage level.
	Not able to perform the test (amongst others due to too high load current for the rms overvoltage generator).
4min	Not working after 4 minutes at this rms voltage level but working when rms voltage is reduced.
20s	The electrical appliance got damaged at this rms voltage level after 20 seconds.

I **Tabell 17** sammanfattas antal apparater som havererat eller uteblivit i funktion för olika tidsintervall av exponerad överspänning.

Tabell 17: Time to damage. Number of damaged appliances in the different test time intervals.

Time	< 0,1 s	0,1-1 s	1-10 s	10-60 s	60 s-10 m	10-30 m	Total
Damaged	3	6	7	7	8	11	42

Undersökningen visar att det redan vid en överspänning på 15% och en exponeringstid om 15-20 minuter finns risk för haveri eller utebliven funktion. För överspänningar om 74% havererade ett flertal produkter redan inom 100 ms.

7.14 SAMMANFATTNING

Standarderna behandlar inte området "överförd potential" fullt ut, dvs påverkan på andra starkströmsanläggningar och andra anläggningar bortom den egna installationen. I Sverige hanteras begränsning av förhöjda markpotentialer bl a i drifttillstånd, så att det vid behov vidtas åtgärder i främmande anläggningar. I förarbetena till svensk lagstiftning, som infördes när system med jordslutningsströmmar överstigande 500 A kom att accepteras enligt de principer som gäller idag, uttrycktes detta som avståndsverkan eller som den "den särskilda faran" (induktion och förhöjda markpotentialer).

Sveriges har inhomogen mark som växlar mellan bördig jord, vattendrag och berggrund. Denna varierande mark gör att markresistiviteten i Sverige kan variera mycket över korta avstånd. Markens resistivitet kan vara över 6 000 Ωm men också under 500 Ωm . Det innebär att markresistiviteten praktiskt sett svårligen kan beräknas och mätningar främst sker i de punkter som bedöms vara speciellt utsatta samt andra punkter vars platser och värden lämnar en tillräcklig bild över hur de förhöjda markpotentialerna är fördelade och att dess värden inte överstiger tillåtna värden.

Om högre beröringsspänningar och till dessa hörande kortare frånkopplingstider skulle tillämpas enligt standarden för en direktjordad anläggning, skulle apparater med elektronik, både fast anslutna och de som ansluts via stickpropp, kunna komma att skadas i större utsträckning.

Vid dagens krav om 0,5 s och 220 V har vi vetskap om den risk detta innebär; värdet är beprövat och accepterat. Dvs det är en accepterat låg risk att den möjliga förhöjda potentialen skull kunna påverka elinstallationen i byggnader så att fara uppstår eller att apparater går sönder.

Att ändra regelverket så att högre spänning tillåts innebär en ökad risk, då det alltid är en större risk att förlita sig på en snabbare brytning. Ökad spänning är i sig en ökad risk.

8 Mätning av steg- och beröringsspänningar

I föreliggande kapitel beskrivs hur Svenska kraftnät genomför steg- och beröringsspänningsmätningar, med starkströmsmetoden, dels i egna anläggningar, dels i angränsande anläggningar.

8.1 UTVECKLINGEN AV ELSÄK-FS

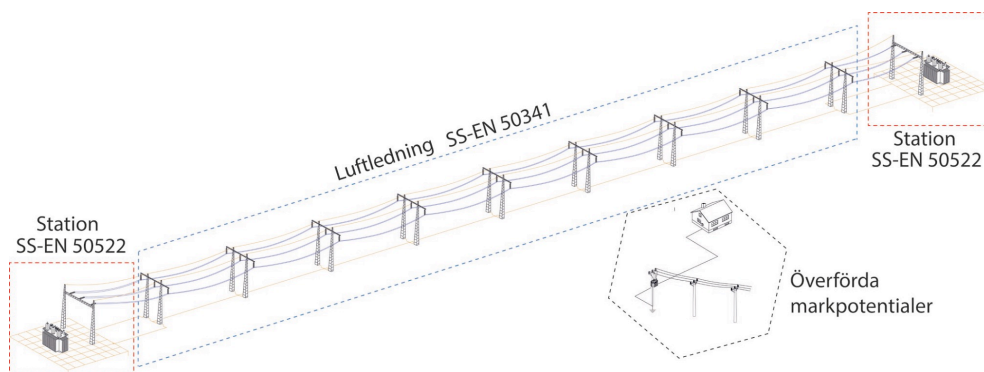
Vid övergång från "Starkströmsföreskrifterna" ELSÄK-FS 1999:5 till författningssamling ELSÄK-FS och i synnerhet ELSÄK-FS 2008:1 "Elsäkerhetsverkets föreskrifter och allmänna råd om hur elektriska starkströmsanläggningar ska vara utförda", fanns en intention om att bara ett kapitel (kap 3) skulle finnas med vidare hänvisning till IEC standard. Eftersom IEC standard inte beaktar svenska jordningsförhållanden fick ELSÄK-FS kompletteras med ytterligare kapitel (kap 4 – kap 8). Vid senaste uppdatering av ELSÄK-FS 2008:1 till ELSÄK-FS 2022:1 gjordes en uppdatering i avsikt att komma standarden ännu närmare.

8.2 SVENSK STANDARD

Det finns två olika standarder som beaktar olika aspekter på hur säkra elanläggningar, överstigande 1 kV, uppnås.

- Jordningsstandard SS-EN 50522 som avser stationer, industrier och liknande
- Luftledningsstandard SS-EN 50341-1 som avser ledningar.

Figur 45 nedan visar olika delar i en anläggning och anläggningar i dess närhet.



Figur 45: Olika delar av en högspänningsanläggning och anläggningar i dess närhet

Svensk standard behandlar främst förhöjda markpotentialer. Avståndsverkan i form av induktionsverkan på andra anläggningar behandlas inte. Överförda potentialer till telekommunikation och andra system behandlas inte heller och inga närmare fordringar anges.

Standarden SS-EN 50522:2010 anger enligt kapitel 6.2 "Regler för telekommunikationssystem i eller i närheten av högspänningsjordningssystem" omfattas inte av denna standard. Befintliga internationella dokument (t.ex. ITU-rekommendationer och direktiv) ska beaktas vid behandlingen av potentialer som

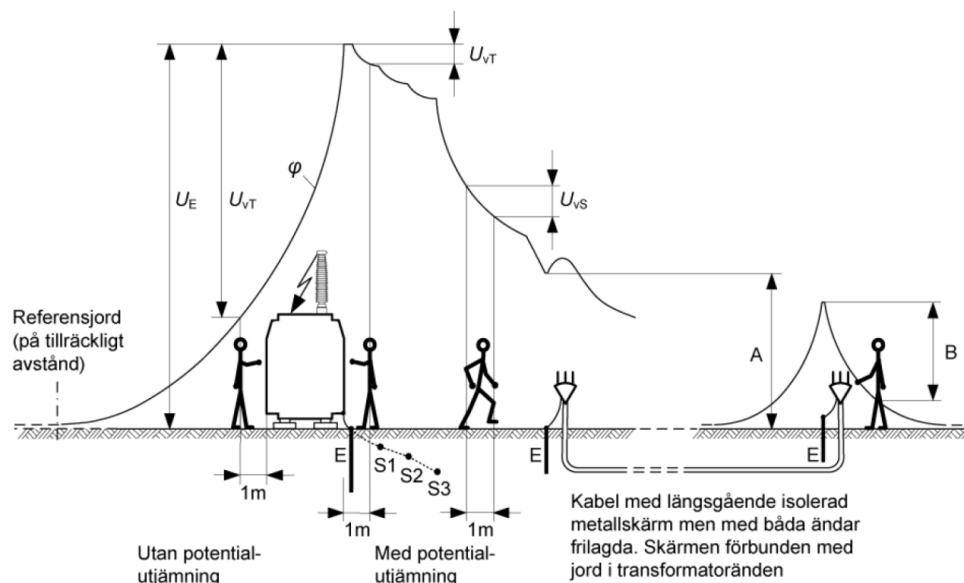
överförs till telekommunikationssystem. Vidare står det att "Det är därför nödvändigt att denna utrustning placeras på tillräckligt avstånd från de områden som påverkas av jordelektroder. Om detta inte är möjligt, måste lämpliga åtgärder vidtas."

Standarden SS-EN 50341-1 anger i avsnitt 6.1.4 "The transfer of potential may occur due to metallic pipes and fences, low voltage cables etc., and general guidelines are difficult to provide especially because circumstances vary from one case to another. Guidelines on individual cases shall be determined by the utility. Proposals from IEC TC 64 also give guidance. Rules for telecommunication systems on, or in the vicinity of, high voltage earthing systems are outside the scope of this standard. When considering transferred potentials due to telecommunication systems, existing international documents (i.e. ITU [CCITT] directives) shall be taken into account".

Ingen av dessa båda standarder beaktar alltså överförda potentialer på andra anläggningar utan fokuserar enbart på anläggningen i frågan.

8.3 MÄTNING AV BERÖRINGSSPÄNNING ENLIGT SS EN-50522

Stegspänning, beröringsspänning mm, definieras enligt **Figur 46**.



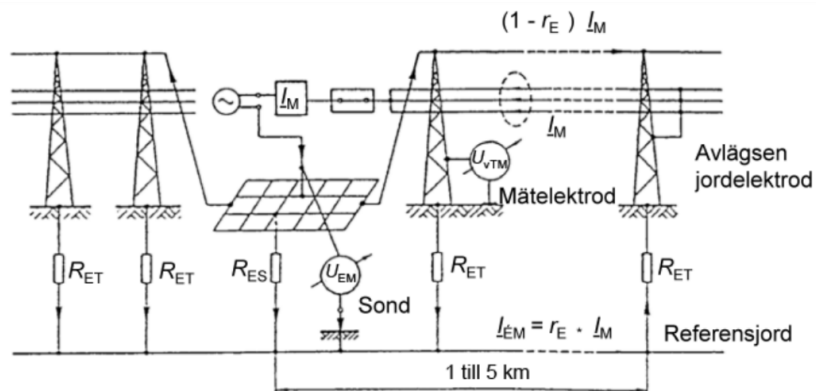
Figur 46: Definition av stegspänning, beröringsspänning, enligt SS-EN 50522, bilaga H.

Enligt standarden, SS-EN 50522 gäller följande för mätningar på egen anläggning:

- Beröringsspänningen ska fastställas med hänsyn till en kroppsresistans om 1 k Ω .
- Mätelektrod(er) för simulering av fötterna ska ha en total area av 400 cm² och ligga an mot jorden med en total kraft av minst 500 N.
- Om inga hänsyn tas till tilläggsresistanser kan en sond, neddriven minst 20 cm i jorden, användas istället för mätelektroden. För mätning av beröringsspänning i någon del i anläggningen ska elektroden placeras på 1 m avstånd från den utsatta delen och för betong eller torr jord placeras på våt duk eller blöt yta. En spetslektrod, som tillförlitligt kan punktera ett färgskikt (ej isolering), ska användas för simulering av handen. En av voltmeterens

anslutningsklämmor ansluts till handelektroden, den andra till fotelektroden.
Det är tillräckligt att utföra sådana mätningar i stationer som
stickprovskontroll

Mätningar utförs med starkströmsmetoden, se **Figur 47**.



- I_M Provsström (i allmänhet är endast beloppen av spänningen och strömmen bestämda)
- I_{EM} Strömmen till jord under mätningen (i detta fall inte direkt mätbar)
- r_E Reduktionsfaktor för ledningen till den avlägsna jordelektroden
- R_{ES} Marklinenätets resistans till jord
- R_{ET} Stolpens resistans till jord
- U_{EM} Jordpotentialstegring under mätning
- U_{VTM} Förväntad beröringsspänning under mätning

Figur L.1 – Exempel på bestämningen av impedansen till jord genom starkströmsmetoden



☐☐

Figur 47: Bestämning av impedansen till jord genom starkströmsmetoden; schematiskt arrangemang (överst), mätningar i fält (underst).

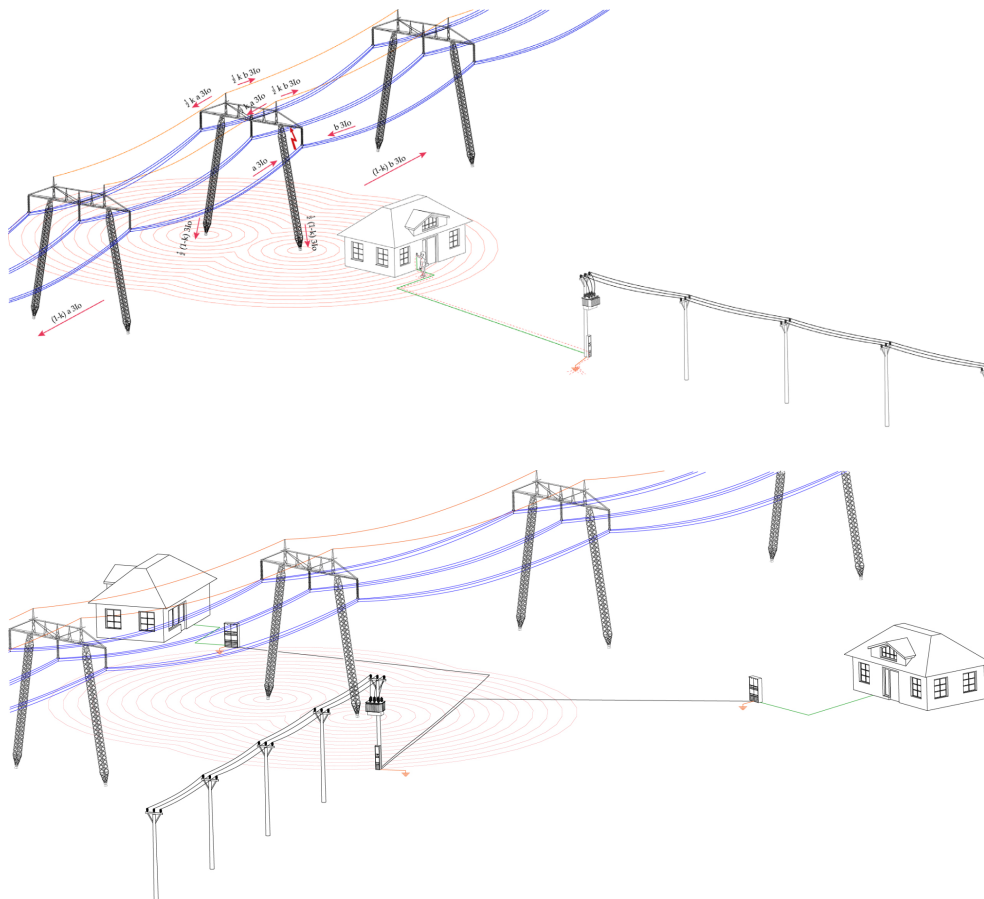
Utförningen av lågspänningsnätet i närheten av en direktjordad högspänningsanläggning kan medföra att överförda potentialer via marken kan medföra risker för tredje man som enligt elsäkerhetslagen måste åtgärdas.

Enligt Elsäkerhetslagen (2016:732) 11 §

”Den som innehar en starkströmsanläggning med en spänning som överstiger 1 000 volt mellan fasledare där det vid enfasigt fel kan uppkomma jordslutningsström med större styrka än 500 ampere och får kännedom om att det har tillkommit en elektrisk anläggning för svagström eller för starkström med en spänning av högst 1 000 volt mellan fasledare, ska vidta de åtgärder som behövs vid den förstnämnda anläggningen för att förebygga skada eller störning.

Åtgärderna ska vara ändamålsenliga för att förebygga att anläggningen genom induktion eller förhöjda markpotentialer påverkar den andra anläggningen och orsakar person- eller sakskada eller annan störning än ljudstörning.”

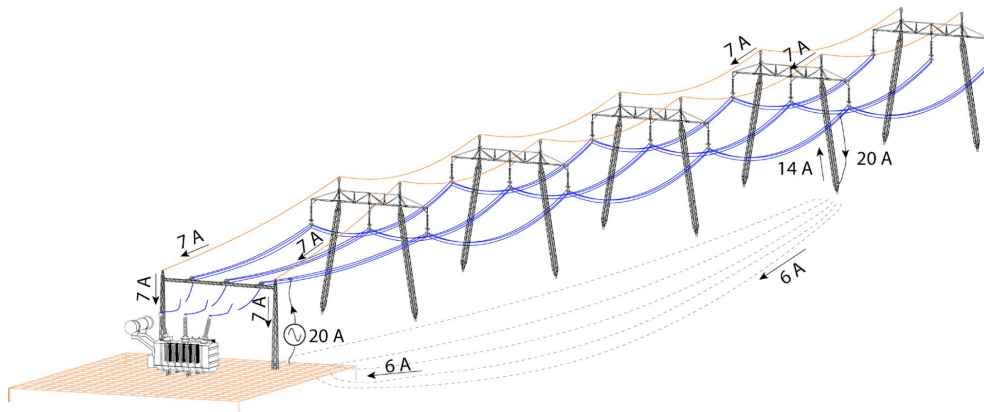
Figur 48 nedan illustrerar hur sådana farliga beröringsspänningar kan uppstå.



Figur 48: Exempel på hur farliga beröringsspänningar kan uppstå.

För att säkerställa en säker högspänningsanläggning utförs även mätningar på lågspänningsanläggningar som ligger inom påverkansområdet av direktjordade anläggningar.

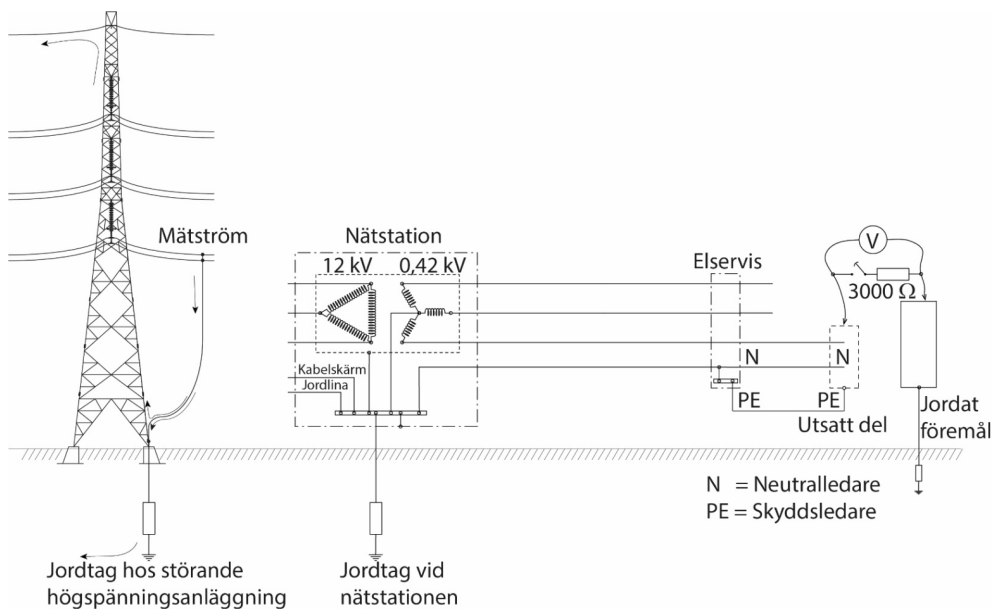
Figur 49 nedan visar exempel på uppkopplingskretsen vid mätning med starkströmsmetoden.



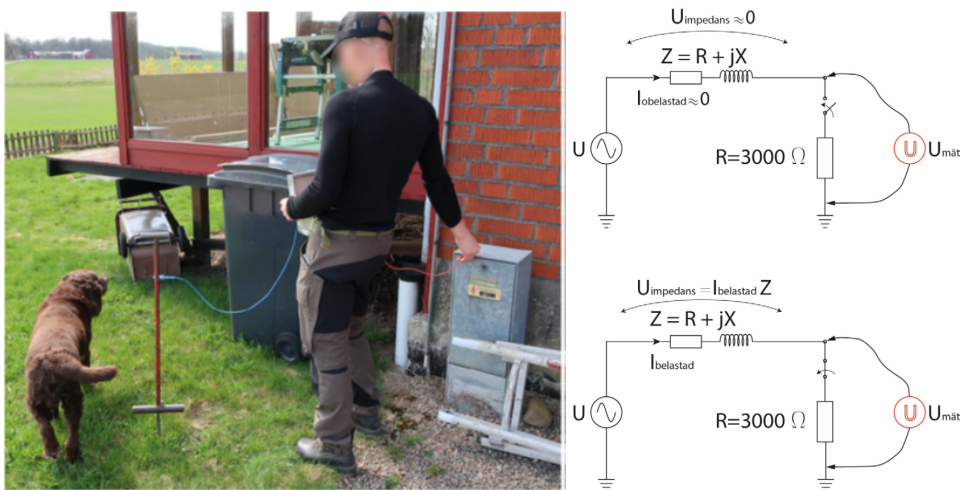
Figur 49: Exempel på uppkoppling och erhållen mätkrets för mätning med starkströmsmetoden.

Ledningen tas ur drift varpå man kopplar upp en generator som genererar en tillräcklig stor ström så att mätsignaler inte förvanskas. Strömmen enligt standarden ska ligga runt 50 A men i svenska förhållanden så ligger strömmen vanligtvis runt 20 A. Vidare utförs mätningar med en annan frekvens än 50 Hz just för att undvika störningar. Vanligtvis ligger frekvensen i spannet 35-45 Hz.

Figur 50 och Figur 51 nedan visar hur en sådan mätning går till i praktiken.



Figur 50: Mätning av beröringsspänning i näraliggande lågspänningsanläggning, enligt starkströmsmetoden.

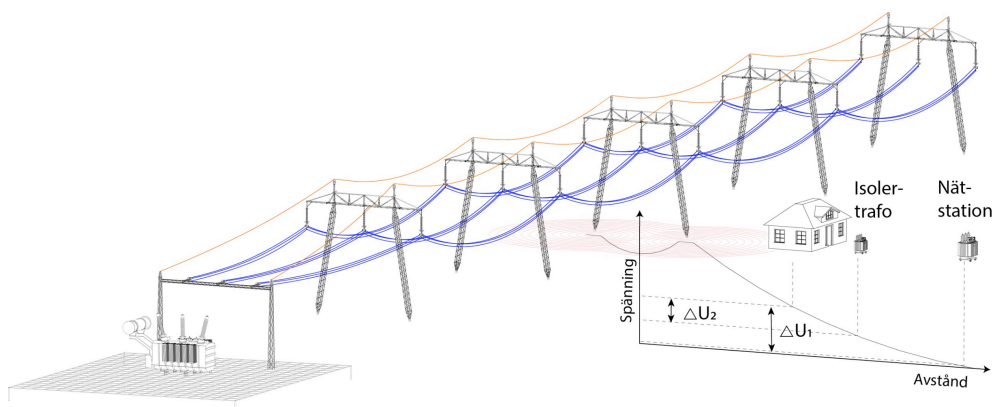


Figur 51: Beröringsspänningsmätning i fält.

Mätningen resulterar i två olika värden, "obelastat" och "belastat" värde, över en resistans som ska motsvara kroppsresistansen. Enligt ELSÄK-FS 2008:1 så var kroppsresistansen 3000Ω . Den nya föreskriften ELSÄK-FS 2022:1 anger en resistans på 1000Ω som är harmoniserad med den svenska standarden. De uppmätta värdena skalas om till de verkliga värden genom att man multiplicerar med en skalfaktor som är kvoten mellan mätströmmen och den verkliga jordslutningsströmmen.

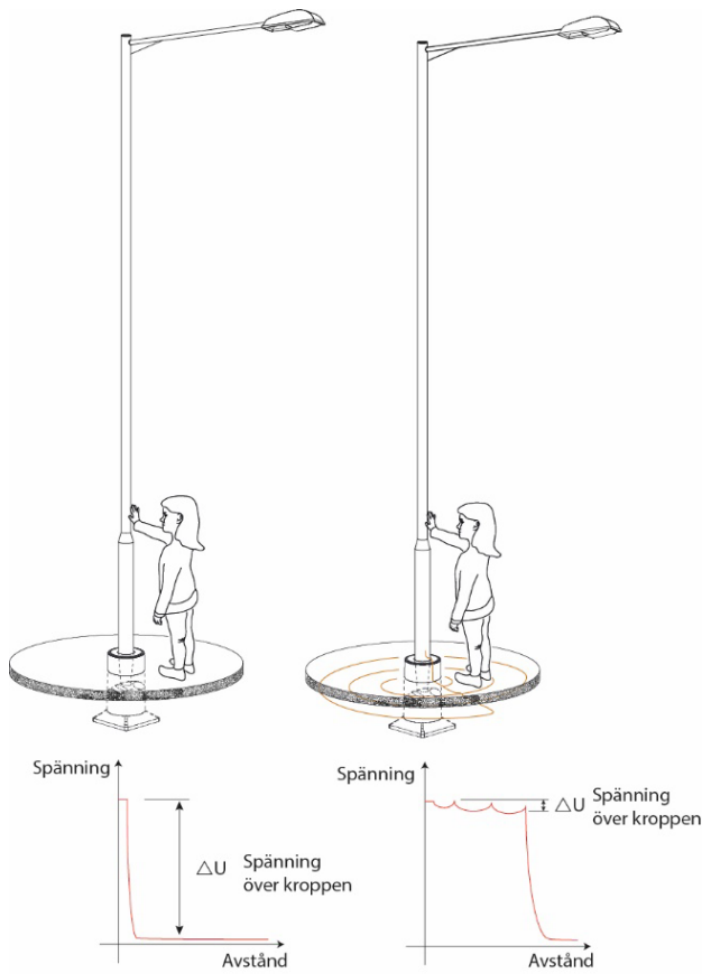
8.4 ÅTGÄRDER VID UPPMÄTTA VÄRDEN

Åtgärder kan göras på olika sätt, en vanlig åtgärd är att man installerar en isolationstransformator, som då får eget jordtag, inom det påverkade området och på det sättet minimerar den potentialskillnad som uppstår mellan marken och PEN-ledaren, se **Figur 52**.



Figur 52: Inverkan av isolertransformator i lågspänningssystemet.

Ett annat exempel är att man installerar potentialutjämnings elektrod exempelvis runt en belysningsstolpe, se **Figur 53**.



Figur 53: Inverkan av potentialutjämningselektrod runt en lyktstolpe.

9 Referenser och hur andra gör

Kapitlet utgörs av Bilaga 1, som innehåller en översikt över tillämpliga standarder, modeller, typfall och beskrivningar av hur andra länder valt att göra, när det gäller person- och anläggningssäkerhet i samband med överförda potentialer vid jordfel i direktjordade nät.

I USA, Storbritannien och Tyskland, ser man till att lågspänningssystemets skyddsjord är jordad på flera ställen och nära kundanslutningar. Metallstrukturer i byggnader ska också anslutas till skyddsjord; jämför med vårt krav på huvudjordningsskena i nyare byggnader.

För personsäkerhetstest används ofta 1500 V testspänning.

Sammanfattningen av Bilaga 1 återges nedan.

9.1 CONCLUSIONS

Specific earthing and safety considerations, in support or against the proposed relaxation of the allowable touch voltage from 220 V to 800 V, are covered in this document. The study focus was on Human Safety (Touch Voltage mainly) and Equipment Safety (Withstand of sensitive electronic equipment on the LV System) in the context of Swedish TNC LV Earthing System.

As an example of a sensitive piece of electronic equipment, used in the context of this discussion, the example of an external wall charger for a mobile phone (CE compliant) was arbitrarily selected.

This preliminary investigation also included simplified numerical modelling in support of specific technical arguments.

From the preliminary investigation, the following conclusions were drawn:

- The withstand level of 1000 V was conservatively assumed.
- From EN 60364-4-44 [18], raising the fault voltage to 800 V requires a fault clearing time of less than 20 ms.
- From the simplified numerical model, the following was noted:
- The situation is safer, for both equipment and people, with the PE connected to an earth point at the residence / distribution board, even with the MV / LV transformer tens of metres away from the residence;
- With the PE connected to an earth point at the residence / distribution board, the touch potentials comply to both 220 V and 800 V, even with the MV / LV transformer tens of metres away from the residence;
 - × With the PE not connected to an earth point at the residence / distribution board, the touch potentials comply only at 800 V. The touch potentials are unsafe in view of a permissible touch voltage of 220 V. Equipment is safe in terms of stress voltage;
 - × For all other cases considered, both equipment and people are unsafe.
- **Specific Note:** It is specifically noted that the numerical model incorporated the following:

- × A fault current of 1 kA was injected at the fault point (A in Figure 9) into the soil;
- × A homogenous soil with 100 Ω .m was used in the assessment.

The findings should be viewed against these parameters as they do not present worst case situations and will depend on the soil resistivity at the site as well as the fault current passed onto the soil at the tower.

- In answering the Key Questions, the following is offered based on the findings of this preliminary investigation:-

- × **Question 1:** In view of earth potential rise (EPR), what is the earth potential difference (EPD) that equipment can withstand and how is equipment stressed with the proposed relaxation of the permissible voltage?

Response: Following a standards approach, the equipment withstand (stress voltage) was conservatively set at 1 kV. It is noted that this value may be relaxed to 1,4 kV based on [EN 60364-4-44 [18]].

The proposed relaxation of the permissible touch voltage to 800 V is not considered to negatively impact on the equipment stress potential because: i) The 800 V level is lower than the 1000 V level; ii) The 800 V is associated with a fault with a clearing time of less than 20 ms; iii) The 1000 V withstand is associated with an applied time of some minutes (Typically 3 minutes).

- × **Question 2:** Is an earth point associated with the LV system at the residence safer for public / equipment or not?

Response: This answer depends on the fault current component that passes into the soil (to present the earth potential rise) and the soil resistivity.

With fault current component of 1 kA and less passing into the soil and with a 100 Ω .m soil resistivity, there is strong suggestion that the situation is safer, for both equipment and people, with the PE connected to an earth point at the residence / distribution board, even with the MV / LV transformer tens of metres away from the residence.

The latter must be confirmed for higher fault current into the soil and different soil resistivities.

- × **Question 3:** Can a permissible voltage of 800 V instead of 220 V be considered for an LV system design? Especially in view of the three categories (Level 1 to Level 3)

Response: The 800 V can be considered provided that the following conditions can be met:

- The 800 V fault clearing time is less than 20 ms and in accordance with EN 60364-4-44 [18].
- The distribution board is earthed at the residence;
- The earthing system at the residence is such that no threatening transferred potentials are presented on the LV system at the residence.

Because the equipment will be safe as noted in Question 2, the context of operational / damaged equipment in the classification below becomes irrelevant:

Categories:

- Level 1: Equipment interfered with but equipment is operational – is it safe?

- Level 2: Equipment damaged but safe / unsafe
- Level 3: Equipment destroyed but safe
- × **Question 4:** How do other countries address this matter?
Response: Low voltage earthing systems may vary from country to country and may include systems, such as, TNC; TNS; TT and IT systems. Despite the variation in earthing systems, European Norms (EN standards) require specific equipment withstand of equipment employed on LV systems. Based on the EN standard, as discussed, these withstand levels are the same, irrespective of country. Because of the fixed standard the issue of transferred potential is addressed in the context of the earthing system employed.

9.2 RECOMMENDATION

The following recommendation is made:

- The preliminary investigation, reported in this document, is limited in terms of the fault current and soil resistivity considered in the simplified numerical modelling. For this reason, it is recommended that a wider range of fault current and soil resistivity should be considered with a more realistic numerical model to affirm / dispute the findings of this preliminary study.

10 Riskanalys för nytt krav i svensk föreskrift

Den föreslagna ändringen i föreskriften går ut på att tillåta en högre beröringsspänning, upp till 700 V, om högsta tillåtna felbortkopplingstiden samtidigt kortas. Riskanalysen ska ligga till grund för en rekommendation till Elsäkerhetsverket om huruvida det riskmässigt ur ett sakskadeperspektiv är möjligt att ändra i föreskriften med bibehållen elsäkerhetsnivå ur den aspekten.

Analysen går ut på att beskriva den förändrade risken för skada på elektriska eller andra anläggningar, system eller komponenter, eller driftstörningar i sådana system, som leder till ren förmögenhetsskada, i samband med jordfel som ger upphov till en högre tillåten beröringsspänning än 220 V, men med en kortare felbortkopplingstid än 0,5 sekunder, jämfört med dagens krav på maximal beröringsspänning på 220 V och maximal felbortkopplingstid om 0,5 sekunder. Analysen behandlar enbart sakskada och ekonomisk skada till följd av driftstörning och inte elchock eller skada på människor eller djur. Riskanalysen omfattar såväl sannolikheten för att en skada ska uppstå som konsekvensen av skadan.

10.1 DEN ELEKTRISKA FARAN

Analysen fokuserar på den elektriska faran och hur "faran" överförs från en direktjordad elektrisk högspänningsanläggning i samband med jordfel till en annan näraliggande anläggning, apparat eller anordning.

Överföringen av den elektriska faran kan ske på i huvudsak tre olika sätt.

- Potentialhöjning genom resistiv överföring, spänningsdelning, till exempel vid spänningssättning av marken vid jordfel.
 - Potentialhöjningen är proportionell mot spänningen i felstället.
 - Potentialhöjningen är typiskt det som påverkar mätning av steg- och beröringsspänningar, även om inverkan av eventuell induktion också kommer med i mätningen.
- Induktion genom induktiv överföring, kopplad till magnetiska fält.
 - Inverkan av induktion är strömberoende.
 - Inverkan kommer med vid mätning av steg- och beröringsspänning. Normalt väljs platser för mätning av steg- och beröringsspänningar utifrån närhet till t.ex. en stolplats där ett jordfel kan ske. Induktion skulle kunna uppstå på andra platser och som inte upptäckts vid en mätning.
 - För parallella signalkablar måste beräkningar eller särskilda mätningar göras. Inverkan på signalkablar kommer inte normalt med vid mätning av steg- eller beröringsspänning.
- Influens genom kapacitiv överföring, kopplad till elektriska fält.
 - Inverkan av influens är spänningsberoende.
 - Influens har ingen avgörande inverkan i samband med jordfel, eftersom spänningen då blir lägre än normalt. Dock blir det elektriska fältet runt trefasledningen osymmetriskt, vilket kan leda till förhöjda värden på det elektriska fältet nära ledningen, men effekten torde vara liten ur

beröringsspänningssynpunkt. Ökning av influensen, orsakat av ett jordfel, kan normalt inte mätas.

Risker relaterade till elchock behandlas inte i föreliggande rapport, då förekommande beröringsspänningar över bar kropp inte ska överstiga maximalt tillåten spänning U_{Tp} enligt svensk standard, varför fokus för den elektriska faran blir på elektriska anläggningar och elektriska apparater, med inriktning mot

- Driftstörning
 - Apparat eller system felfungerar utan att i sig skadas.
- Skada på installation eller apparat
 - Installation eller apparat skadas och måste repareras eller bytas.
 - Livstidsförkortning behandlas inte i föreliggande arbete.
- Brand
 - Uppvärmning av brännbart material till följd av ljusbåge eller liknande, som leder till antändning och brand med icke försumbar utveckling och skada.

Det anses inte föreligga någon risk för skada på icke-elektriska anläggningar, såsom vägräcken, viltstängsel och liknande, till följd av jordfel i näraliggande direktjordade högspänningsanläggning.

10.2 ACCEPTANSKRITERIER

Det är rimligt att acceptera en föreskriftsändring till priset av en marginell ökning av antalet felfunktioner och skadade apparater.

Det är inte rimligt att acceptera en föreskriftsändring till priset av en signifikant ökad brandrisk.

10.3 ANSATS OCH ANALYSFÖRUTSÄTTNINGAR

Uppdraget har fokus på "beröringsspänning" och "förekommande spänningar", i samband med jordfel. Beröringsspänningen påverkas genom markpotentialhöjning och genom induktion. Riskanalysen går därför ut på att identifiera situationer, där en ökad spänningspåkänning på installationer och apparater kan uppstå i samband med jordfel i näraliggande direktjordad högspänningsanläggning.

Riskanalysen baseras på den påverkan på omgivningen som uppkommer vid jordfel i de svenska direktjordade högspänningsnäten (110, 130, 220, och 400 kV) som redovisas i avsnitt 6. De sålunda uppkomna förekommande spänningarna jämförs med vad förekommande anläggningar, utrustningar, system och komponenter, tål eller borde tåla, eventuellt som funktion av den kortare felbortkopplingstiden.

Vid jämförelsen är det viktigt att poängtera att diagrammet i **Figur 1** refererar till "beröringsspänning", medan föreskriften talar om "förekommande spänningar". Beröringsspänningen, för en utsatt del, är normalt signifikant lägre än motsvarande spänning utan beröring, eftersom "beröringen" innebär en shuntning mellan den utsatta delen och jord, med 1 000 Ω . Det måste vid riskanalysen antas att annan utrustning som utsätts för "förekommande spänning" i samband med

jordfel, har betydligt högre impedans till jord, vilket gör att "förekommande spänning" kan sättas lika med den obelastade spänningen på utsatt del i analysen.

Påverkan på utrustning som kortvarigt, mindre 0,5 sekunder, utsätts för kraftfrekventa spänningar i storleksordningen några kilovolt, beror på hur utrustning och komponenter har dimensionerats.

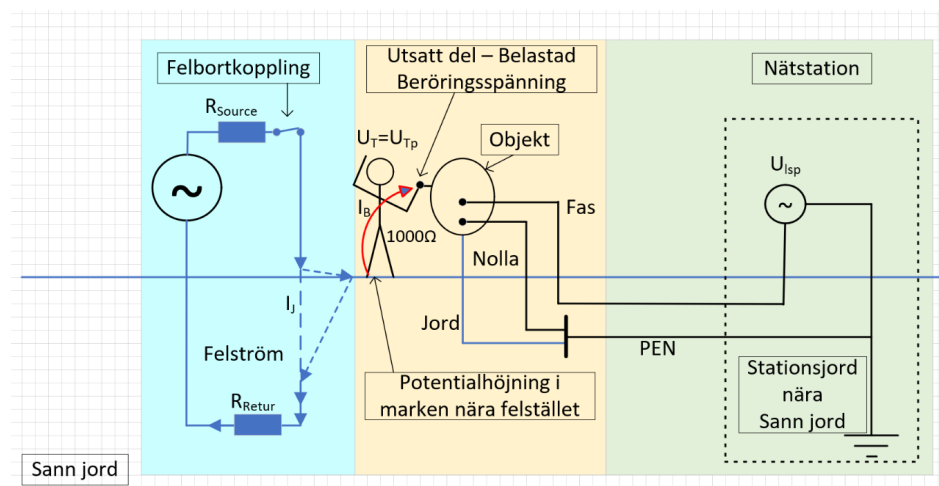
Analysen delas därför upp i två delar; en del som studerar "förekommande spänningar", i samband med jordfel och en del som fokuserar på isolationshållfasthet och isolationskrav för allmänt använda system och komponenter.

10.4 FÖREKOMMANDE SPÄNNINGAR I SAMBAND MED JORDFEL

I föreliggande avsnitt beskrivs och värderas alla tänkbara situationer där jordfel kan, eller skulle kunna, orsaka skadliga spänningar för installationer eller apparater. Arrangemang och situationer är gjorda så att maximal beröringsspänning ska uppstå, och därmed även maximal "förekommande spänning" som kan påverka installationer och apparater.

10.4.1 Utsatt del nära jordfelet

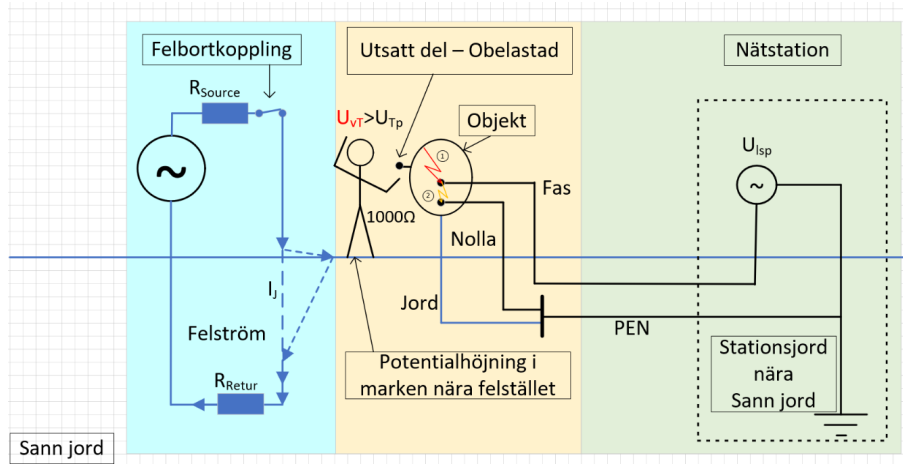
Betrakta **Figur 54**, där personen berör ett skyddsjordat hölje på en apparat ansluten till ett lågspänningsnät som har sin stationsjord långt bort. Det skyddsjordade höljet har en potential som ligger mycket nära stationsjordens potential, som i sin tur ligger nära sann jord. Personen däremot befinner sig nära jordfelet och är utsatt för en kraftig markpotentialhöjning. Objektet anses isolerat från markpotentialen där det befinner sig och alla ledningar antas vara isolerade från marken. En farlig beröringsspänning kan därvid uppstå på den utsatta delen.



Figur 54: Beröringsspänning för utsatt del nära jordfelet, och lågspänningssystemets neutralpunkt jordad långt bort.

Betrakta nu **Figur 55**, där personen har släppt beröringen med den utsatta delen. Den utsatta delen får då den obelastade potentialen. Den anslutande kabeln kommer att utsättas för en spänning som beror av potentialen i marken relativt

potentialen hos ledarna i kabeln. Vi har nu att analysera risken för skadliga spänningar mellan fas och hölje samt mellan fas och nolla i det betraktade objektet. Eftersom hela lågspänningssystemet har sin spänningsreferens i matande nätstations stationsjord, så kan inga skadliga spänningar uppstå i objektet.

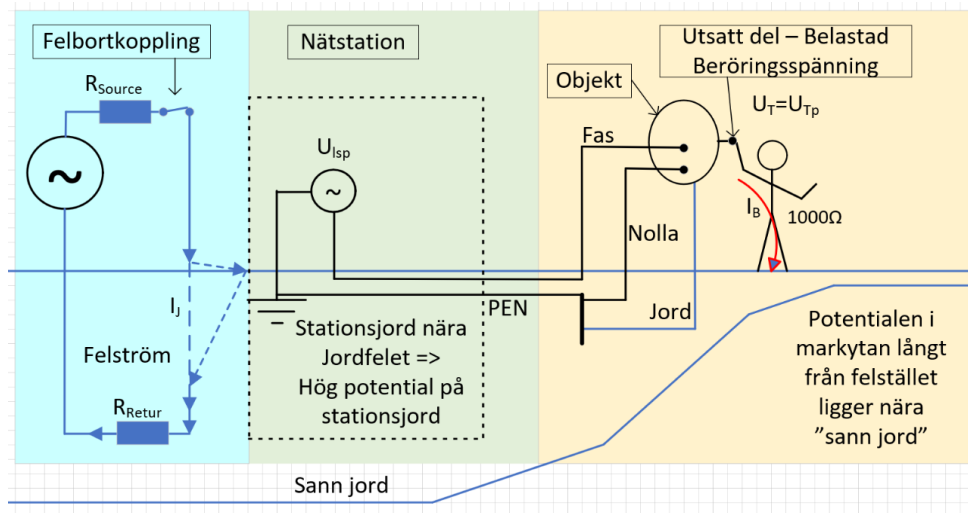


Figur 55: Förekommande spänningar i apparat nära jordfelet med lågspänningssystemets neutralpunkt jordad långt bort.

Ett avbrott i PEN-ledaren i **Figur 55** och en lokal jordning av PE-skenan nära det betraktade objektet skulle kunna innebära en skadligt hög spänning i objektet både mellan fas och neutral och mellan fas och skyddsjordat hölje.

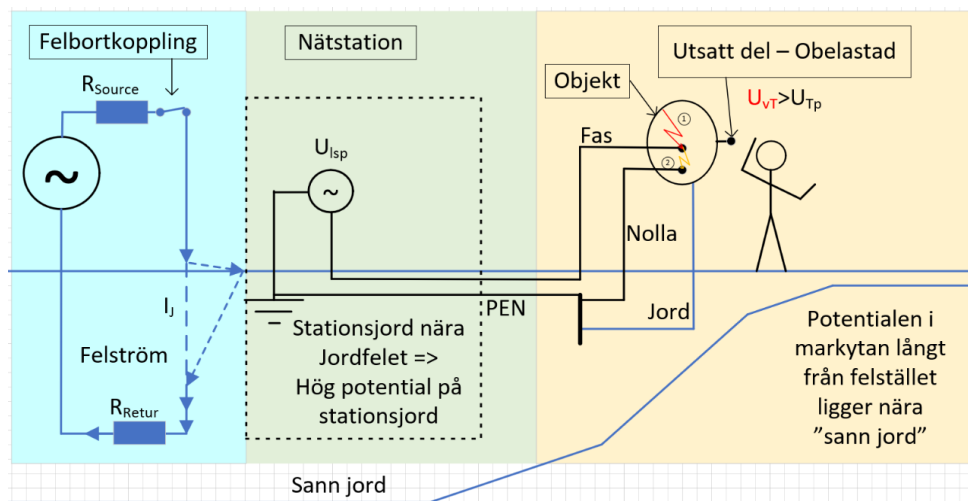
10.4.2 Utsatt del långt från jordfelet

Förhållandena är här liknande dem som beskrivits i avsnittet ovan, med den skillnaden att nätstationen och personen/objektet har bytt plats, så att nätstationens stationsjord nu är nära jordfelet och utsatt för en kraftig markpotentialhöjning, medan personen och objektet befinner sig långt bort, där markpotentialen är nära sann jord, se **Figur 56**.



Figur 56: Beröringsspanning för utsatt del långt från jordfelet, och lågspänningssystemets neutralpunkt jordad nära jordfelet.

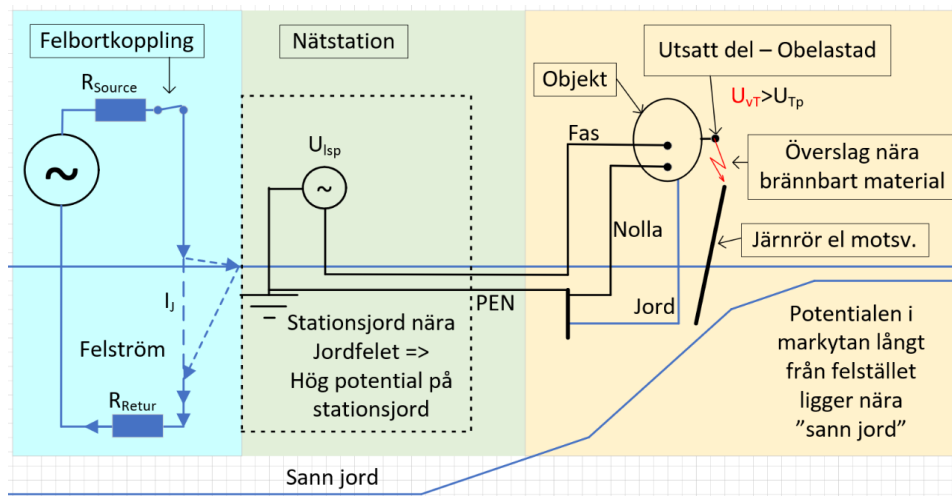
I **Figur 57** har personen släppt kontakten med den utsatta delen och objektet är utsatt för förekommande spänningar. Även här anses objektet isolerat från markpotentialen där det befinner sig. På samma sätt som i avsnittet ovan har hela lågspänningssystemet gemensam referens och inga skadliga spänningar uppstår i apparaten.



Figur 57: Förekommande spänningar i apparat långt från jordfelet med lågspänningssystemets neutralpunkt jordad nära jordfelet.

10.4.3 Lokal markpotential nära utsatt del

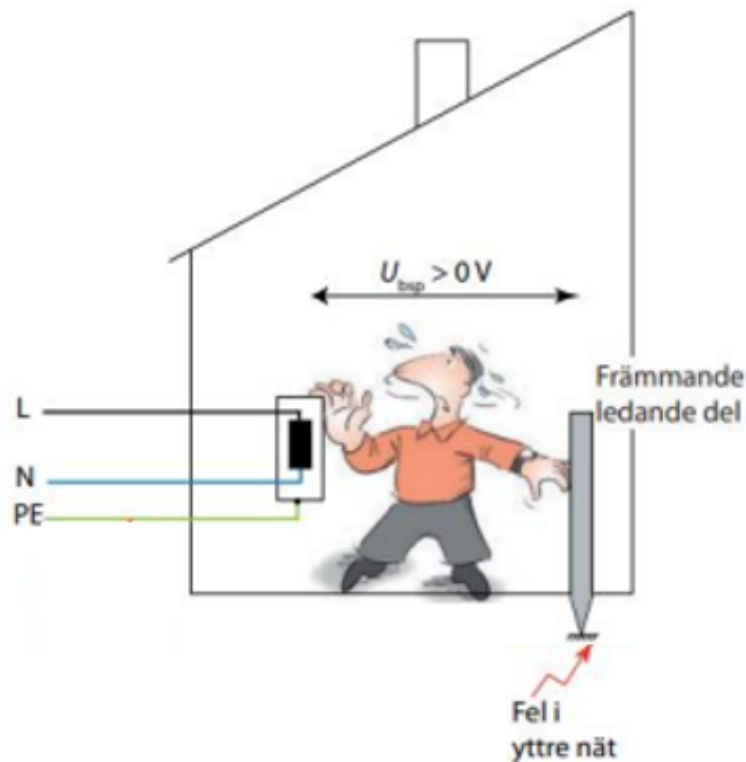
Betrakta **Figur 58**, som överensstämmer med **Figur 57**, med den skillnaden att personen har ersatts med ett järnrör, spett eller motsvarande, vars ena ände är nedstucken i marken, nära sann jord, och vars andra ände befinner sig nära den utsatta delen, vars potential hämtas från stationsjorden i den matande nätstationen, som befinner sig nära jordfelet och därmed antas vara utsatt för en kraftig markpotentialhöjning.



Figur 58: Lokalt jordat föremål nära den skyddsjordade utsatta delen som har stationsjordspotential.

Ett överslag skulle kunna ske mellan den utsatta delen och det lokalt jordade järnröret. Med lättantändligt brännbart material i omedelbar närhet av överslaget skulle brand kunna uppstå. Det skulle till exempel kunna vara en skyddsjordad metallkapsling på utsidan av en trälada, med ett lokalt jordat spett alldeles intill och lite torrt gräs emellan. Det återstår att analysera förutsättningarna för en sådan brand vad gäller brännbart material och energiinnehåll i ljusbågen.

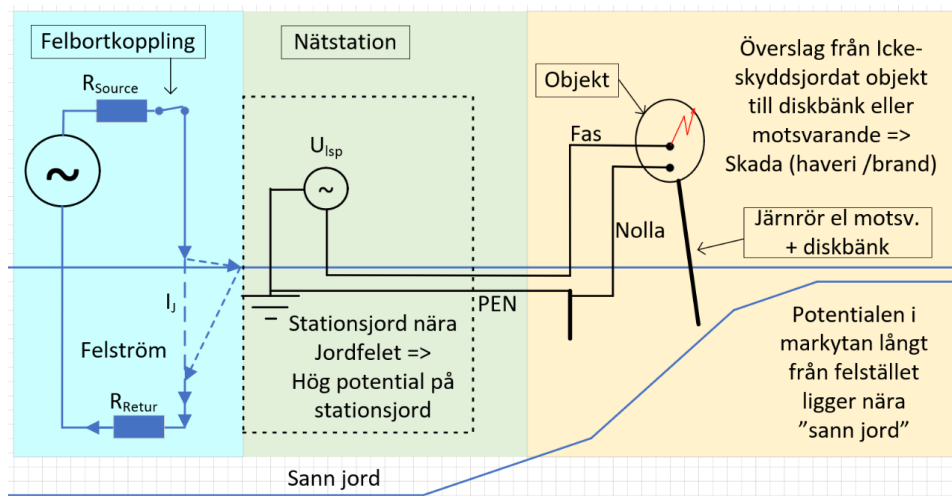
Motsvarande kan även inträffa inne i en byggnad utan skyddsutjämning, se **Figur 59**, där en skadlig potentialskillnad kan uppstå mellan ett skyddsjordat hölje, som hämtar sin potential i matande nätstations stationsjord, och ett lokalt jordat föremål, i samband med jordfel och därtill kopplad markpotentialhöjning.



Figur 59: Byggnad utan skyddsutjämning, med lokalt jordat föremål och skyddsjordat hölje.

10.4.4 Objekt med lokalt jordat hölje

Betrakta **Figur 60**, där jordfel, stationsjord och matande lågspänningssystem är desamma som i **Figur 58**. Objektet däremot är ett icke skyddsjordat bruksföremål med ledande hölje, där höljet har kontakt med lokal jord, vars potential är nära sann jord. Det kan till exempel vara en brödrost med plåthölje som ligger på en diskbänk och är ansluten via en förlängningssladd till ett ojordat vägguttag.



Figur 60: Icke skyddsjordat objekt med lokalt jordat ledande hölje.

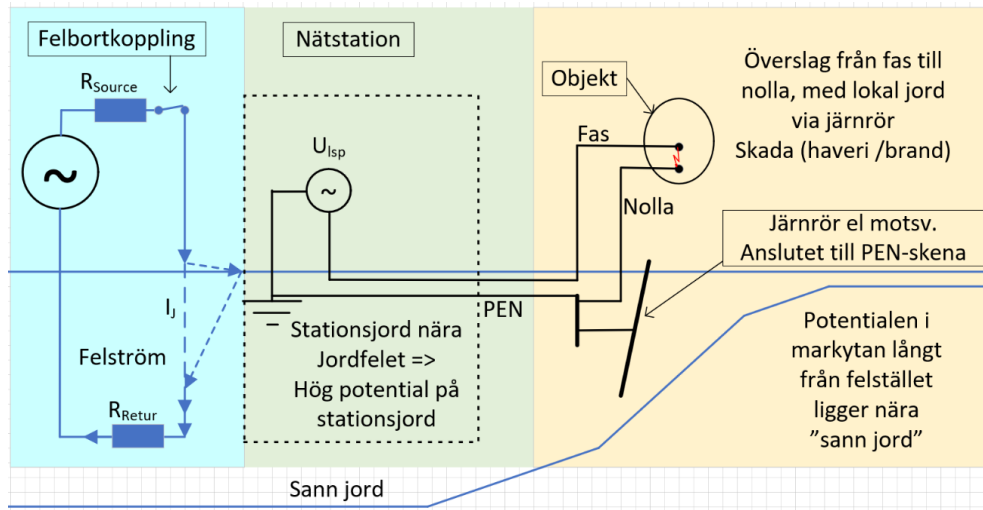
Eftersom fas och neutral båda har sina referenser i stationsjorden nära jordfelet uppstår ingen skadlig spänning mellan dessa i objektet. Däremot kan det uppstå en skadlig spänning mellan fas (men även neutral) och höljet som har lokal jordpotential, nära sann jord. Det återstår att analysera förutsättningarna för komponentskada respektive brand orsakat av ett internt överslag i apparaten. För fasledaren ska det finnas en säkring, som ska vara så beskaffad att den förhindrar brand vid eventuell kortslutning i anläggningen, eller i anslutna apparater. Det är rimligt att anta att en sådan säkring utgör ett tillräckligt skydd mot brand för överslag mellan fas och hölje i **Figur 60**. För överslag mellan neutral och hölje finns ingen säkring, men heller ingen drivande spänning efter bortkoppling av jordfelet.

Man skulle även kunna tänka sig en skada i apparaten som inte leder till en "kortslutningsström" utan endast ökade förluster som skulle kunna leda till en upphettning med brand som resultat, på samma sätt som med en dålig kontakt som kan orsaka brand men inte löser säkringen. Det känns emellertid osannolikt att en sådan uppvärmning skulle kunna leda till brand inom en halv sekund, som är den maximalt tillåtna bortkopplingstiden för jordfelet. Dock skulle isolationsskadan kunna uppstå under feltiden. Efter bortkopplingen av jordfelet i högspänningssystemet, driver fasspänningen en felström genom den skadade isolationen, med risk för uppvärmning och brand innan skyddande säkring hinner lösa ut.

10.4.5 Lokalt jordad PE-skena

Betrakta **Figur 61** där jordfel, stationsjord och matande lågspänningssystem är desamma som i **Figur 60**. PE-skenan i anläggningen, långt från jordfelet och nära sann jord, är däremot ansluten till ett vattenrör eller motsvarande och antar en potential nära sann jord. Fassungspänningen i objektet har kvar sin referens i stationsjorden i matande nätstation, medan neutralen antar en potential nära sann jord via den lokalt jordade PE-skenan. En skadlig spänning kan därmed uppstå mellan fas och neutral i objektet. Om objektet är skyddsjordat skulle även en skadlig spänning kunna uppstå mellan fas och hölje i apparaten. Det finns även

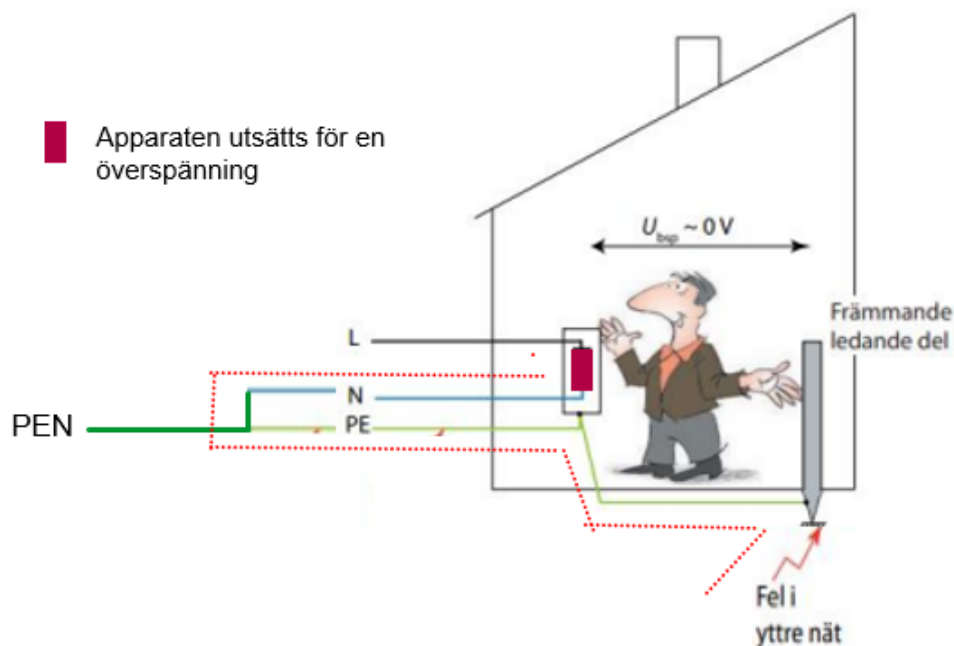
risk för genomslag i isolationen i installationen, mellan fas och neutral, respektive mellan fas och skyddsjord.



Figur 61: Icke skyddsjordat objekt med lokalt jordad PE-skena.

Eftersom PE-skenan fortsatt har kontakt med stationsjord via den låghmiga PEN-ledaren känns det ganska avlägset att en skadlig överspänning mellan fas och neutral skulle kunna uppstå i objektet, som kan vålla allvarlig skada. Man skulle kunna betrakta detta som att man balanserar jordtagen så att PE-skenan antar en potential mellan stationsjord och sann jord. Samma resonemang gäller för risken för genomslag i installationen.

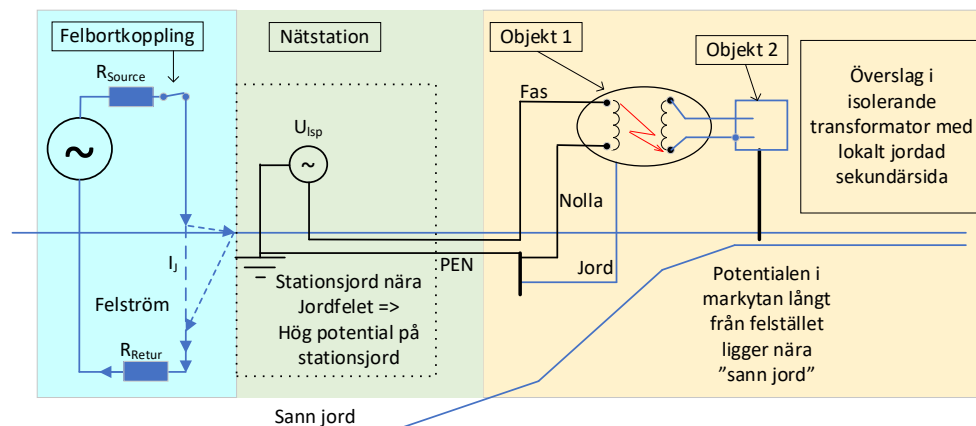
Motsvarande kan även inträffa i en byggnad med skyddsutjämning, där PEN-ledaren inte längre har samma potential som matande nätstations neutralpunkt, se **Figur 62**.



Figur 62: Byggnad med skyddsutjämning där en potentialskillnad kan uppstå inne en apparat.

10.4.6 Objekt med isolerande transformator

Betrakta **Figur 63** där jordfel, stationsjord och matande lågspänningssystem är desamma som i **Figur 61**. Antag att en isolerande transformator, Objekt 1, är ansluten till anläggningen långt från jordfelet och att den isolerande transformatorn matar Objekt 2 vars ena pol är ansluten till ett ledande hölje som har kontakt med lokal jord. Objekt 2 i figuren för då in den lokala potentialen, som är nära sann jord, till den isolerande transformatorns sekundärsida. Transformatorns primärsida har matande nätstations stationsjord som referens. Vid ett näraliggande jordfel kan stationsjorden anta en hög potential och en hög spänning kan uppstå mellan transformatorns båda lindningar.

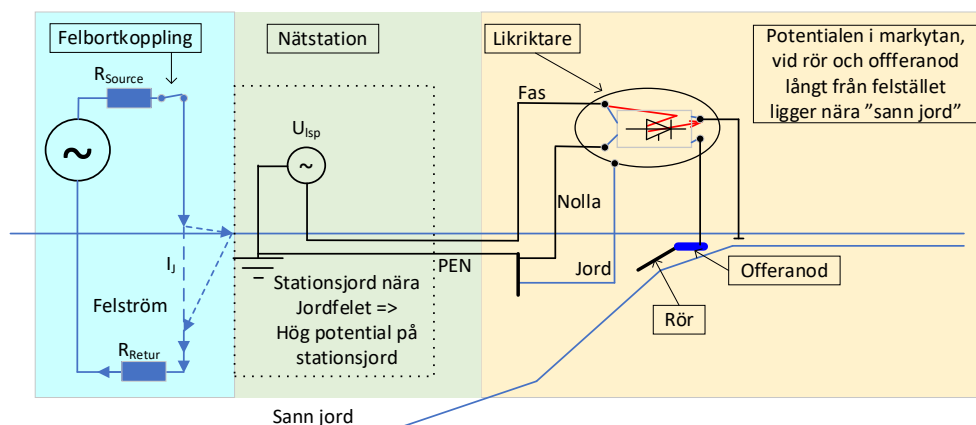


Figur 63: Objekt med isolerande transformator och anslutet annat objekt med lokalt jordat hölje.

Det ställs dock höga isolationskrav på den här typen av isolerande transformatorer och liknande spänningssomvandlare, speciellt när det gäller isolationen mellan uppsidan och nedsidan, som ofta har koppling till elchock och personsäkerhet. Det känns ganska avlägset att den här typen av överslag skulle kunna orsaka någon ansevärd materiell skada.

10.4.7 Aktivt korrosionsskydd

Likriktare för katodiskt korrosionsskydd används till korrosionsskydd med påtryckt ström. Likströmmen kopplas till anoderna som sedan avger den vidare till de objekten som skall skyddas, t ex rörsystem inom industrin, se **Figur 64**. Risksituationen har stora likheter med den isolerande transformatorn i avsnitt 10.4.6. Fas, nolla och skyddsjord hämtar sin gemensamma potentialreferens i matande nätstations jordtag. En likriktaranläggning för aktivt korrosionsskydd med hjälp av offeranoder och en cirkulerande likström är anslutet till ett rörsystem som har lokal jordpotential, där likströmskretsen är isolerad från den matande systemreferensen. I samband med jordfel skulle därmed en skadlig potential kunna uppstå i likriktaren, mellan fas, nolla, eller skyddsjord, å ena sidan, och likriktarens lokalt jordade likströmssystem å andra sidan.



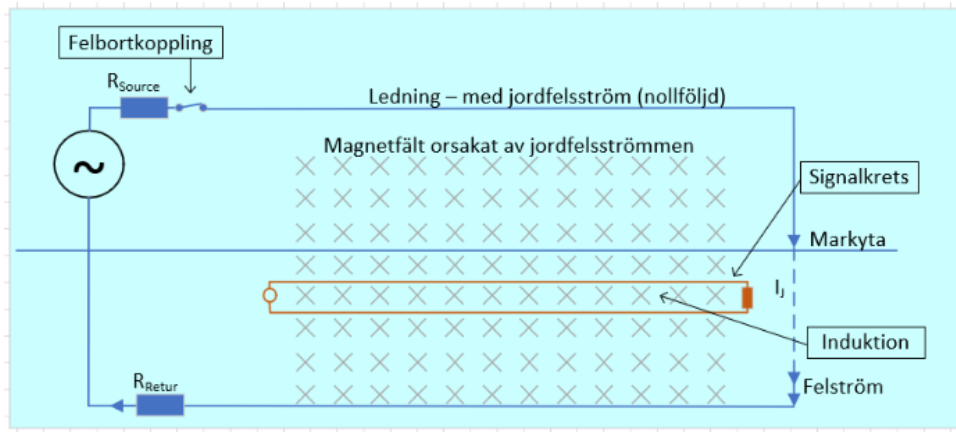
Figur 64: Likriktare som matar ett aktivt korrosionsskydd anslutet till ett lokalt industriellt rörsystem i mark.

Problemet är oberoende av om DC-kretsen är isolerad från systemreferensen eller om DC-sidans ena pol är ansluten till systemreferensen via PEN-ledaren. Potentialskillnaden inne i omriktaren uppstår bara på olika ställen. Lämpligt utformade överspänningsskydd borde vara tillräckligt för att skydda den här typen av känsliga komponenter.

10.4.8 Induktion

En strömförande ledning ger upphov till ett magnetfält runt ledaren och en strömförande slinga ger upphov till ett magnetfält, proportionellt mot strömmens storlek, genom slingan, se **Figur 65**. Magnetfältet som jordfelsströmmen på högspänningsledningen ger upphov till är riktat inåt i bilden. I en annan ledande slinga som helt eller delvis omsluter detta magnetfält uppstår en spänning

proportionell mot magnetfältets storlek, och om slingan är sluten uppstår en mot den inducerade spänningen svarande inducerad ström.



Figur 65: Induktion i parallellgående signalkabel till följd av jordfel på högspänningsledning.

Problemet med överspänningar i parallella signalkablar löses med överspänningsskydd, och anses inte utgöra något hinder för den föreslagna föreskriftsändringen.

10.4.9 Sammanfattning av risksituationer

Ett antal situationer som skulle kunna leda till skada, haveri, felfunktion eller överslag/genomslag inuti en elektrisk apparat eller anordning, eller i en elektrisk installation, har identifierats.

Så länge objektets fasspänning, neutral och skyddsjord har matande nätstations stationsjord som gemensam potentialreferens, **Figur 54 - Figur 57** så kan inga skadliga spänningar uppstå inuti objektet eller i anläggningen som matar objektet.

Energinnehållet för att åstadkomma överslag/genomslag utreds vidare i avsnitt 10.5, nedan. Det visar sig att maximal energiutveckling i felstället med en föreskriftsändring blir i samma storleksordning som med dagens föreskriftskrav.

För situationer där överslag eller genomslag skulle kunna ske mellan neutral och skyddsjordat hölje finns ingen felströmsdrivande spänning när jordfelet i högspänningssystemet har kopplats bort. Energinnehållet i överslaget är förhållandevis litet och tillgången till lättantändligt och brännbart material inne i objektet torde vara begränsad. Objektet ska ju tåla ett inre fel och en kortslutning som bryts av en säkring utan att orsaka brand. Sannolikheten för brand bedöms därför som mycket liten för dessa situationer.

Det största problemet torde vara överslag från isolerat skyddsjordat hölje med stationjordspotential från matande nätstation till ett lokalt jordat ledande föremål i omedelbar närhet av höljet, enligt **Figur 58**. Risken för brand baserat på torrt gräs och tändande gnista utreds vidare i avsnitt 10.5, nedan. Det finns flera situationer t.ex. med en öppen bensindunk på marken vid spettet och en för antändning gynnsam bränsleluftblandning där gnistan uppstår som skulle kunna leda till

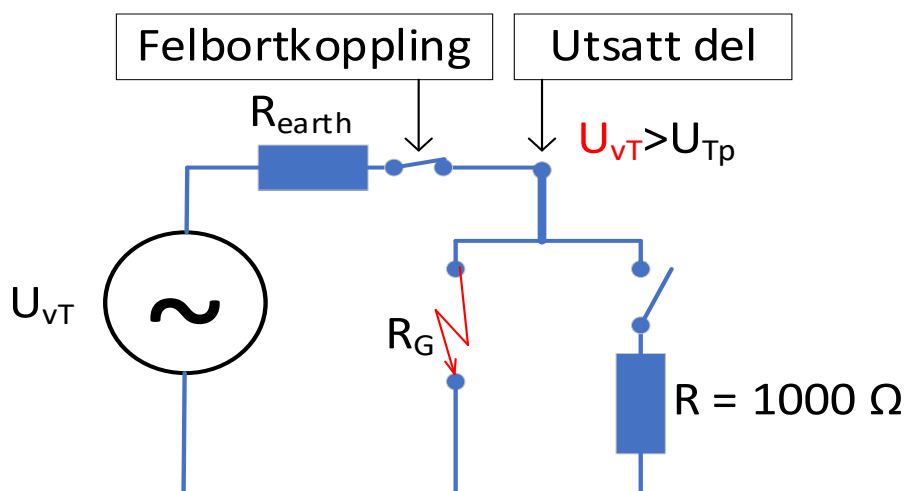
skada men som orsakas av olämplig hantering av brännbart material så detta hanteras inte i denna rapport.

Ett antal situationer som kan orsaka internt överslag och intern skada i utsatt objekt har identifierats, t ex icke skyddsjordad brödrost med ledande hölje på lokalt jordad diskbank, enligt **Figur 60**. Ett annat exempel är en situation med lokalt jordad neutral, där överslag skulle kunna ske mellan fas och nolla inne i objektet, enligt **Figur 61**. Ett tredje exempel skulle kunna vara internt överslag i en isolerande transformator, där sekundärsidans ena pol är lokalt jordad, enligt **Figur 63**. I dessa situationer skulle det utsatta objektet kunna skadas eller haverera.

Inverkan av induktion när det gäller risken för elchock och fara för objekt anslutna till lågspänningsnätet kommer med vid beröringsspänningsmätningar. När det gäller parallellgående signalkablar löses eventuella överspänningsproblem till följd av induktion vid jordfel med överspänningskydd såsom tidigare.

10.5 RISK FÖR BRAND

Baserat på analysen i avsnitt 10.4, har en risksituation identifierats med risk för brand. För att analysera brandrisken har en ekvivalent krets enligt **Figur 66** tagits fram. Kretsen består av en spänningskälla med det obelastade värdet U_{VT} , en inre resistans R_{earth} , en felbortkopplingsfunktion, samt mätresistansen 1000Ω , och en brytare som kopplar om, från den belastade beröringsspänningen till motsvarande obelastade värde över en kritisk gnista med ljusbågsresistansen R_G , där den brandorsakande effektutvecklingen tänks ske.



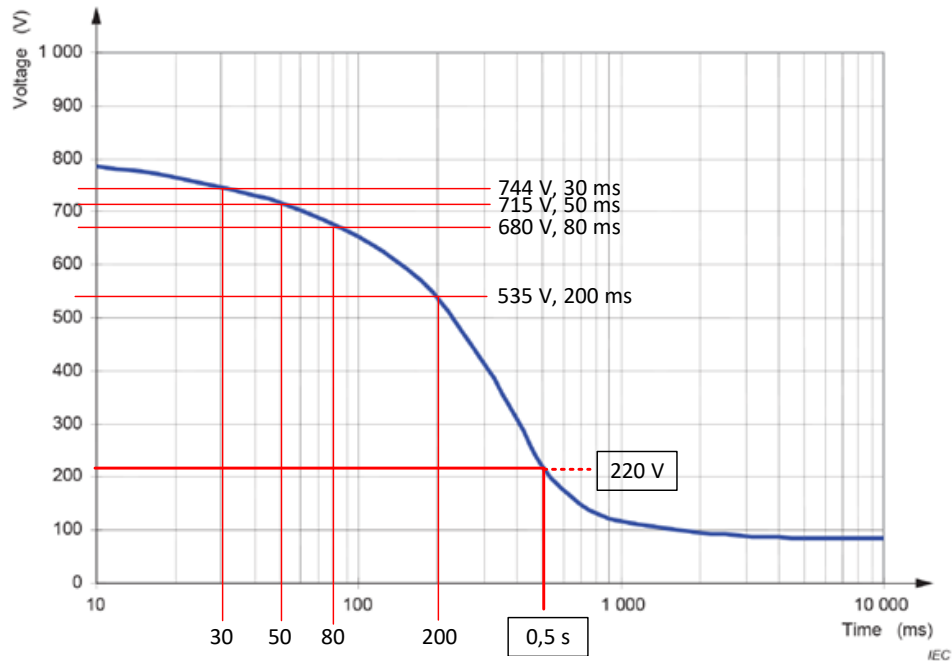
Figur 66: Ekvivalent krets för bedömning av brandfaran.

10.5.1 Enkel analys för beräkning av en övre gräns för effektutvecklingen

Det är lätt att visa att maximal effektutveckling i R_G erhålles då $R_G = R_{earth}$.

I **Figur 67** illustreras hur den högre beröringsspänningen kan bestämmas som funktion av den kortare felbortkopplingstiden. För en felbortkopplingstid på 30 ms fås en maximalt tillåten beröringsspänning om 750 V; för 50 ms felbortkopplingstid är motsvarande värde 715 V, osv. Längre felbortkopplingstider än 0,5 s behandlas

inte i föreliggande utredning, eftersom felbortkoppling inom 0,5 s redan är ett krav i ELSÄK-FS⁷⁶. Felbortkopplingstider kortare än 50 ms känns med dagens teknik inte realistiska.



Figur 67: Eventuellt högre tillåten beröringsspänning i samband med jordfel för kortare felbortkopplingstid än 0,5 s, enligt den blå kurvan och såsom exemplifierats med de tunnare röda linjerna.

Ur kurvan i **Figur 67** utläses sammanhörande värden på beröringsspänning och felbortkopplingstid och återges i **Tabell 18**.

Tabell 18: Maximalt tillåtna beröringsspänningar, i samband med jordfel i högspänningsanläggningar med jordslutningsströmmar överstigande 500 A, som funktion av felbortkopplingstiden⁷⁷

Maximal felbortkopplingstid [ms]	Maximalt tillåten beröringsspänning [V]
10	784
20	763
30	744
40	728
50	716
60	704
70	687
80	680
90	663
100	654

⁷⁶ ELSÄK-FS 2022:1 5 kap. 4 §:

⁷⁷ Tabellvärden är här lästa ur kurvan i **Figur 67**

Maximal felbortkopplingstid [ms]	Maximalt tillåten beröringsspänning [V]
200	537
300	413
400	314
500	220

Notera att föreskriften talar om "förekommande spänningar", medan standarden och kurvan talar om "beröringsspänning", dvs spänningsvärdet i den utsatta punkten vid en belastning om 1 kΩ. Här tolkas "förekommande spänningar" som alla spänningar (även obelastade), men kravet på 220 V gäller vid 1000 Ω.

Den ekvivalenta kretsen i **Figur 66** analyseras nu för varje kombination av felbortkopplingstid och maximalt tillåten beröringsspänning, enligt **Tabell 18**. För varje sådan kombination av beröringsspänning och bortkopplingstid, antas ett antal olika värden på den motsvarande obelastade spänningen, dvs källspänningen U_{vT} i **Figur 66**. För varje sådan kombination av maximal beröringsspänning (U_{Tp}), felbortkopplingstid (t_c) och källspänning (U_{vT}), kan förimpedansen R_{earth} beräknas. Slutligen beräknas maximal energiutveckling i en tänkt överslagsnista med den konstanta ljusbågsresistansen $R_G=R_{earth}$.

Med antaget värde på U_{vT} ger en enkel spänningsdelning värdet på U_{Tp} :

$$U_{Tp} = \frac{1000\Omega}{R_{earth} + 1000\Omega} U_{vT}$$

Härur löses värdet på R_{earth} :

$$R_{earth} = \frac{U_{vT}}{U_{Tp}} \cdot 1000\Omega - 1000\Omega$$

Med $R_G=R_{earth}$ och feltiden t_c fås slutligen energiutvecklingen i gnistan (W_G) enligt:

$$W_G = \frac{U_{vT}^2}{4 \cdot R_G} \cdot t_c$$

Beräkningsresultaten summeras i **Tabell 19**. För varje kombination av U_{Tp} och t_c är energiutvecklingen monotont ökande med ökande U_{vT} . 30 kV har antagits vara en övre gräns för det obelastade spänningsvärdet.

Tabell 19: Beräknad maximal effektutveckling i en ljusbågsresistans för beröringsspänningar och felbortkopplingstider enligt Tabell 18, och med antagna värden på den obelastade spänningen. Det gröna fältet motsvarar nuvarande föreskriftsregler och de röda värdena motsvarar förhållanden som är värre än vad nuvarande regelverk tillåter.

U_{TP} [V]	t_c [s]	U_{VT} [kV]	W_G [Ws]		U_{TP} [V]	t_c [s]	U_{VT} [kV]	W_G [Ws]
784	0,010	30	60		680	0,080	30	417
784	0,010	10	21		680	0,080	10	146
784	0,010	2	6		680	0,080	2	41
763	0,020	30	117		663	0,090	30	458
763	0,020	10	41		663	0,090	10	160
763	0,020	2	12		663	0,090	2	45
744	0,030	30	172		654	0,100	30	501
744	0,030	10	60		654	0,100	10	175
744	0,030	2	18		654	0,100	2	49
728	0,040	30	224		537	0,200	30	820
728	0,040	10	96		537	0,200	10	284
728	0,040	2	28		537	0,200	2	73
716	0,050	30	275		413	0,300	30	942
716	0,050	10	96		413	0,300	10	323
716	0,050	2	28		413	0,300	2	78
704	0,060	30	324		314	0,400	30	952
704	0,060	10	114		314	0,400	10	324
704	0,060	2	33		314	0,400	2	74
687	0,070	30	369		220	0,500	30	831
687	0,070	10	129		220	0,500	10	281
687	0,070	2	37		220	0,500	2	62

I **Tabell 19** ska nuvarande tillåtna ljusbågsenergivärden jämföras med de högre värden som fås för felbortkopplingstider mellan 0,100 och 0,500 s. Felbortkopplingstider om 0,100 s och kortare ger mindre ljusbågsenergi än dagens regler tillåter och utgör således inget problem.

Maximal ström för de olika fallen i **Tabell 19** uppgick till 0,64 A och erhöles för $U_{TP} = 784$ V och $U_{VT} = 2000$ V. Generellt blev strömvärdena högst för $U_{VT} = 2000$ V. Strömvärdena ökade också med ökat U_{TP} .

Sammanfattning:

- U_{VT} 30 kV ger maximal $W_G \approx 980$ Ws (tillåtet med dagens regelverk är 831 Ws)
- U_{VT} 10 kV ger maximal $W_G \approx 350$ Ws (tillåtet med dagens regelverk är 281 Ws)
- U_{VT} 2 kV ger maximal $W_G \approx 80$ Ws (tillåtet med dagens regelverk är 62 Ws)

Som jämförelse skulle det totala energiinnehållet i en tändsticka som får brinna ut vara 1300 Ws⁷⁸. Denna energi kan räcka för att tända torrt gräs en solig sommardag.

Som en annan jämförelse, så testas lågspänningsanläggningar med så kallade stötton, med till exempel en spänning på 1,5 eller 3 kV och ett energiinnehåll om 500 Ws⁷⁹.

Ovanstående analys bygger på ett förenklat antagande om en konstant och maximalt ogynnsam ljusbågsresistans under hela felförloppet för att få en övre gräns för energiutvecklingen i överslagsstället. En noggrannare analys skulle ge lägre energivärden. Den relativa skillnaden mellan resultaten baserade på dagens regelverk och resultaten baserade på den tänkta regelverksändringen torde dock inte bli väsentligt annorlunda. Dock skulle sannolikheten för högre beröringsspanningar och därmed sannolikheten för högre obelastade spänningsvärden öka med regelverksförändringen.

10.5.2 En djupare ljusbågsanalys

Den tyske fysikern Maximilien Toepler (1870-1960) arbetade med elektrostatik, gnistor och urladdningsfenomen. Toepler beskrev resistansen i en elektrisk ljusbåge såsom omvänt proportionell mot den laddning som passerat genom ljusbågen, dvs tidsintegralen av ljusbågsströmmen⁸⁰.

$$R(t) = \frac{k_T \cdot D}{\int_0^t I(t) dt} \quad (\text{Toeplers lag}), \text{ där}$$

$I(t)$ är strömmen genom ljusbågen vid tiden t ,
 D är avståndet mellan elektroderna för ljusbågens fotpunkter och
 k_T är en konstant med värdet 4×10^{-3} Vs/m.

Överslagshållfastheten i luft är i storleksordningen 20 kV/cm⁸¹, vilket motsvarar $D = 1$ mm, 5 mm och 15 mm, för spänningarna 2, 10, respektive 30 kV.

Toeplers lag är mer utformad för impulsurladdningar och inte för quasistationär växelström. Vi släpper därför Toepler i den vidare analysen.

Inom kraftsystemtekniken används istället ofta Warringtons formel för bestämning av resistansen i en ljusbåge matad med kraftfrekvent växelström.

$$R = \frac{29000 \cdot L}{I^{1,4}} \Omega, \text{ där}$$

L är ljusbåglängden i [m], och
 I är strömmens effektivvärde i [A]

Exempel på beräkningsresultat redovisas för $U_{TP}=220$ V och $t_c=0,5$ s i **Tabell 20**. Energiutvecklingen i ljusbågen var monotont ökande för ökande feltid för

⁷⁸ osäker källa: [En tändsticka tänds | Thorulf Arwidson \(wordpress.com\)](#)

⁷⁹ EZ-THUMP 3 kV and EZ-THUMP 4 kV | Portable Fault Location (megger.com)

⁸⁰ Maximilien Toepler - Wikipedia

⁸¹ **Error! Hyperlink reference not valid.**306 (Handbok för driftpersonal vid statens kraftverk / 3. Kraftstationer : kraftledning : ställverk) (runeberg.org)

sammanhörande värden (enligt kurvan i EN 50522) på U_{TP} och t_c . Energiutvecklingen var i samtliga beräknade fall mindre än 100 Ws.

Tabell 20: Beräkningsresultat för ljusbågsresistans och ljusbågsenergi enligt Warrington

Mätmotstånd= 1000 Ω							
U _{TP} = 220		t _c =		0,5			
U _{VT} [V]	RG [Ω]	I [A]	RG2 [Ω]	I2 [A]	RG22 [Ω]	WG2 [Ws]	
30000	135364	1	435	0,22	3602,24	87,90	
30000	135364	0,5	1148	0,22	3628,75	87,63	
10000	44455	1	145	0,22	3528,19	88,69	
10000	44455	0,5	383	0,22	3554,54	88,40	
2000	8091	1	29	0,25	3093,28	93,83	
2000	8091	0,5	77	0,24	3118,66	93,50	

Tabell 20 ska läsas enligt följande:

- 1) Värdena 30, 10, och 2 kV valdes för U_{VT} .
- 2) $R_{earth}=RG$ beräknades för maximalt tillåten beröringsspänning $U_{TP}=220$ V, genom spänningsdelning, se avsnitt 10.5.1.
- 3) Strömmen I för en första uppskattning av ljusbågsresistansen väljs till 1,0 och 0,5 A, baserat på resultaten i avsnitt 10.5.1.
- 4) Ljusbågsresistansen RG2 uppskattades enligt Warrington, baserat på strömmen I och gnistgapets längd (1, 5, och 15 mm, för $U_{VT} = 2, 10,$ respektive 30 kV).
- 5) Baserat på framräknat värde på R_{earth} och det uppskattade värdet på ljusbågsresistansen, samt den matande spänningen U_{VT} , beräknades ett bättre värde på ljusbågsströmmen I2.
- 6) Ett uppdaterat värde på ljusbågsresistansen RG22 beräknades baserat på det nya värdet ljusbågsströmmen I2, med hjälp av Warringtons formel.
- 7) Slutligen beräknades energiutvecklingen i ljusbågen WG2 med hjälp av RG22, I2 och t_c .

Beräkningar enligt **Tabell 20** genomfördes för samtliga sammanhörande värden på U_{TP} och t_c , enligt **Tabell 19**.

Warringtons formel enligt ovan är en empirisk formel framtagen för beräkning av ljusbågsresistanser vid fel i direktjordade högspänningsnät, där felströmmarna uppgår till åtskilliga kA. Det kan därför råda viss osäkerhet om huruvida sambandet är applicerbart på strömmar i storleksordningen 1 A.

10.5.3 Sammanfattning

En absolut övre gräns för energiutvecklingen, i ett felställe mellan lokal markpotential och systemjord (skyddsjord, PEN-ledare, jordat hölje), som uppfyller villkoren för beröringsspänning och felbortkopplingstid enligt kurvan i

EN 50522, är mindre än 1000 Ws. Störst energiutveckling fås för felbortkopplingstider i intervallet 0,1 till 0,5 s. Beräkningarna ger ett maximalt värde på 952 Ws (för $U_{Tp} = 344$ V och $t_c=0,4$ s). För $U_{Tp} = 220$ V och $t_c=0,5$ s, vilket är tillåtet med dagens krav, erhöles en energiutveckling om 831 Ws.

En noggrannare energiutvecklingsanalys med Warringtons formel ger en energiutveckling som är mindre än 100 Ws. Här fås monotont stigande energiutveckling med ökande feltid.

Oavsett beräkningsmetod, så är energiutvecklingen i en utsatt punkt i samma storleksordning oavsett om man följer kurvan i EN 50522 för kortare felbortkopplingstider än 0,5 s eller om man följer dagens krav på maximalt 220 V beröringsspänning och en maximal felbortkopplingstid om 0,5 s.

10.6 KRAV PÅ ISOLATIONSHÅLLFASTHET I LÅGSPÄNNINGSSYSTEM

Krav på isolationshållfasthet i lågspänningssystem och i lågspänningsapparater ställs främst med tanke på personskydd och brandrisk. När det gäller installationens eller apparatens funktion är kraven ofta betydligt mindre, och inskränks till märkspänning $\pm 10\%$, eller något liknande.

Tillåten kraftfrekvent överspänning i lågspänningssystem till följd av jordfel i näraliggande högspänningssystem, med felbortkopplingstider kortare än 5 s, är 1200 V, enligt IEC 60364-4-44.

Enligt IEC 60664-1 finns fyra olika överspänningskategorier, med avseende på stöthållfasthet. För apparater och utrustning på lågspänningsnivå är kategoriernas tålighet mot impulsöverspänning enligt nedan:

- Kategori I: 1 500 V
- Kategori II: 2 500 V
- Kategori III: 4 000 V
- Kategori IV: 6 000 V

Det är experimentellt visat att vissa apparater slutar att fungera som avsett redan vid måttliga överspänningar, såsom 10%, se avsnitt 7.13.

10.7 SKADOR ELLER STÖRNINGAR SOM KONSEKVENSN AV JORDFEL

Det, mot det maximalt tillåtna (belastade) beröringsspänningsvärdet U_{Tp} svarande, obelastade spänningsvärdet U_{VT} kan i i princip bli hur högt som helst, upp till fasspänningen i felströmsmatande system, oavsett storleken på tillåten beröringsspänning, beroende huvudsakligen på markresistivitet och jordtagsresistans. Dock gäller att det obelastade spänningsvärdet är proportionellt mot beröringsspänningen, för lika förhållanden i övrigt.

Så länge fasspänning, neutral och skyddsledare har samma potentialreferens i matande nätstations jordtag uppstår inga skadliga spänningar i lågspänningsinstallationer eller i lågspänningsapparater.

Avbrott i PEN-ledare, lokalt jordad PEN-ledare, eller icke skyddsjordat objekt med lokal jordkontakt, skulle kunna ge upphov till skadlig spänning internt i en installation

eller apparat. Rapporten bygger på att alla anläggningsdelar uppfyller gällande krav på utförandet. Vidare är anläggningsinnehavaren skyldig att fortlöpande kontrollera den egna anläggningen och anslutna utrustningar. I de risksituationer som presenteras i rapporten kan man anta att det är minst tre innehavares anläggningar som är med i kedjan, men det kan vara fler. Faktum är att brister på PEN-ledare i distributionsnäten förekommer.

Eventuella problem med inducerade överspänningar i signalkablar löses med överspänningsskydd.

Sannolikheten för brand till följd av överslag i samband med jordfel och stora potentialskillnader är idag försumbar och kan tänkas öka marginellt om den föreslagna regelverksändringen genomförs.

10.8 ÖVRIGA IDENTIFIERADE RISKER I SAMBAND MED JORDFEL

Under arbetets gång har ett antal andra risker kopplade till jordfel i de direktjordade högspänningssystemen identifierats.

10.8.1 Icke föreskriftsenlig felbortkopplingstid

Referensgruppens medlemmar har mångårig erfarenhet av arbete med felbortkoppling i 130 kV näten i olika delar av landet. Det finns situationer där det är en utmaning att innehålla dagens felbortkopplingstider. Det kan dels handla om flerpunktsledningar, där fränkopplingsvillkoren inte uppfylls direkt i alla ändpunkter, vid felets inträffande, utan i någon ändpunkt först efter det att felströmsbidraget från annan ändpunkt kopplats bort. Det kan också vara ett stort felströmsbidrag från den ena ändpunkten vid näraliggande fel och viss resistans i felstället som gör att bortkoppling i motstående station fördröjs.

- Finns det anledning för Elsäkerhetsverket att se över sina tillsynsrutiner vad gäller efterlevnaden av felbortkopplingskravet på maximalt 0,5 s?

10.8.2 Vad avses med felbortkopplingskravet på 0,5 s

Det är inte tydligt i föreskriften om felbortkopplingskravet på 0,5 s avser ordinarie bortkopplingstid eller reservbortkopplingstid. I andra sammanhang, t ex krav på "fault-ride-through" för produktionsanläggningar är tidskraven för bibehållen anslutning och fortsatt stabil drift efter felbortkoppling satta så att det är tydligt att det är reservbortkoppling som avses.

För stamnätet är ordinarie bortkopplingstid i storleksordningen 80-100 ms för alla fellägen, och reservbortkopplingstiden i storleksordningen 250 ms, varför stamnätet skulle vara robust för tolkningen att 0,5 s avser reservbortkoppling.

För 130 kV ledningar utan kommunikation mellan ändpunkterna fås ordinarie bortkoppling i form av steg-2, med en förväntad bortkopplingstid om cirka 460 ms, för c:a 40% av ledningen (närmast ändpunkterna). Här är det enbart ordinarie bortkoppling som klarar kravet på 0,5 s.

10.8.3 Hur hanteras snabbåterinkoppling av ledning efter fel

Många friledningar på transmissions- och subtransmissionsnivå har snabbåterinkoppling efter enfasiga fel, som oftast är övergående, dvs felet försvinner av sig själv när ljusbågen släcks, i samband med att felströmmen bryts, och felstället avjoniseras. Snabbåterinkopplingen innebär att ledningen kopplas in igen efter ett spänningslöst intervall om 0,5 – 0,8 s. Om det då skulle vara ett kvarstående fel, är det då rimligt att betrakta återinkopplingen mot det kvarstående felet som ett "nytt fel" och att den maximalt tillåtna feltiden om 0,5 s börjar räknas från noll i samband med återinkopplingen då kraftsystemet återigen exponeras för felet?

10.9 PÅVERKAN PÅ EXISTERANDE DRIFTTILLSTÅND

En eventuell regelverksändring har ingen inverkan på existerande driftilstånd. Driftilstånd meddelas av Elsäkerhetsverket baserat på då gällande regelverk. Driftilstånd gäller för anläggningen, till exempel en ledning, i det utförande som redovisats i ansökan. Driftilstånd får begränsas i tid, men påverkas inte retroaktivt av regelverksändringar.

11 Rekommendationer

Baserat på framställningen i de tidigare delarna av rapporten och speciellt på det närmast föregående avsnittet om riskanalys, formuleras här slutsatser och rekommendationer åt Svenska kraftnät. Elsäkerhetsverket har medverkat i referensgruppen och aktivt följt och bidragit till arbetet.

Energiforsk har med hjälp av DNV (projektsammanhållande) och en referensgrupp bestående av såväl svenska som utländska experter noggrant analyserat konsekvenserna av en föreskriftsändring, där nuvarande krav, vid jordfel i direktjordade högspänningsanläggningar, på maximalt 220 V beröringsspänning i närbeläggande anläggningar och en felbortkopplingstid på maximalt 0,5 s, ersätts av en mot felbortkopplingstiden svarande maximal beröringsspänning för feltider kortare än 0,5 s, i enlighet med kurvan i SS-EN 50522. Projektet understryker att det enbart är saksksadeaspekten som analyserats och att alla risker kopplade till fara för person eller husdjur gällande elchock legat utanför uppdraget.

Projektet har därvid inte funnit några tungt vägande skäl som talar mot en sådan förändring och tillstyrker därmed att svensk standards fordringar skulle kunna ersätta nuvarande krav i lagstiftningen.

Rekommendationen baseras på följande slutsatser från riskanalysen:

- 1) Så länge fas, neutral och skyddsjord alla har en gemensam potentialreferens i matande nätstations stationsjord, kan inga skadliga spänningar uppstå mellan dessa ledare i, till nätstationen kopplade, felfria och korrekt utförda lågspänningsanläggningar, eller därtill kopplade apparater. Om lokal jord, skild från matande stationsjord, leds in i en apparat, skulle dock en skadlig potentialskillnad kunna uppstå. Apparaten skulle då kunna haverera, men knappast orsaka någon brand.
- 2) Under vissa speciella förhållanden skulle en skadlig potentialskillnad kunna uppstå mellan fas eller neutral och skyddsjordat hölje, alternativt mellan fas och neutral. För alla felströmmar, jordfelsström eller kortslutningsström, där fasledaren är involverad skyddar gruppcentralens säkring mot brand. För fel mellan neutral och skyddsjord finns ingen bakomliggande felströmsdrivande spänning och ett eventuellt överslag eller genomslag slocknar när jordfelsströmmen bryts. En apparat kan haverera, men knappast orsaka någon brand.
- 3) Elektroniska apparater, t ex likriktare för katodiskt korrosionsskydd av metallrör i mark, där sekundärkretsens ena eller båda poler är lokalt jordade kan utsättas för överspänningar inne i apparaten i samband med markpotentialhöjning vid jordfel, som beror på potentialskillnaden mellan lokal jord och matande nätstations jordtag. Den elektroniska apparaten skulle kunna haverera, men knappast kunna orsaka någon brand. Elektroniska apparater där risk för sådan överspänning föreligger bör skyddas med överspänningsskydd.

- 4) Under mycket ogynnsamma förhållanden skulle en skadlig potentialskillnad kunna uppstå mellan en skyddsjordad metallisk kapsling som hämtar sin potential långt bort via PEN-ledaren och ett närliggande lokalt jordat metallföremål. Om det då finns lättantändligt och brännbart material i omedelbar närhet skulle en överslagsgnista kunna starta en brand. Beräkningar visar dock att med rimliga värden på ingångsdata, såsom beröringsspänning och motsvarande obelastat spänningsvärde, så blir energiinnehållet i en sådan överslagsgnista så litet att det är mycket osannolikt att en brand ska kunna starta.
- 5) Maximalt tänkbart energiinnehåll i en överslagsgnista med dagens regelverk har jämförts med motsvarande värden för den föreslagna föreskriftsändringen, varvid endast marginella skillnader har konstaterats.
- 6) Skador till följd av induktion i näraliggande signalkablar har hittills förebyggts med överspänningsskydd, vilket bedöms fungera bra även med en förändring av föreskriften.
- 7) Icke-elektriska anläggningar, såsom vägräcken, viltstängsel och liknande bedöms inte kunna ta skada av den föreslagna föreskriftsändringen eller orsaka brand i sin omgivning.
- 8) Om en höjning av tillåten beröringsspänning inte kommer att påverka storleken på jordfelsströmmen, kommer anläggningar, som inte kontrolleras i samband med en beröringsspänningsmätning, att kunna utsättas för höga spänningar. Dessa spänningar är inte beroende av storleken på tillåten beröringsspänning utan direkt beroende av storleken på jordfelsströmmen.

Vidare rekommenderas beställaren Svenska kraftnät att be Elsäkerhetsverket att fundera igenom följande punkter:

- 1) Behöver tillsynen avseende kravet på maximalt 0,5 s felbortkoppling intensifieras?
- 2) Anses kravet på maximal felbortkopplingstid vara relaterat till den designmässiga ordinarie felbortkopplingstiden eller till reservbortkopplingstiden?
- 3) Hur ser man på en snabbåterinkoppling efter en första felbortkoppling, är det att betrakta som ett nytt fel, med tanke på kravet på maximalt 0,5 s felbortkopplingstid?

12 Referenslista

EBR, *Viltstängsel*, IN 055:99

Elsäkerhetsverket, <https://www.elsakerhetsverket.se/om-oss/vart-uppdrag/elsakerhetsverkets-historia/>

ELSÄK-FS 2008:1, *Elsäkerhetsverkets föreskrifter och allmänna råd om hur elektriska starkströmsanläggningar ska vara utförda*, 2021-03-31.

ELSÄK-FS 2011:3, *Elsäkerhetsverkets föreskrifter om ansökan om drifttillstånd*, ISSN 1103-405X, 2011-12-23.

ELSÄK-FS 2022:1, *Elsäkerhetsverkets föreskrifter och allmänna råd om hur starkströmsanläggningar ska vara utförda*, ISSN 1103-405X, 2022-04-28.

Nordic (entsoe.eu),
2022_Nordic_and_Baltic_Grid_Disturbance_Statistics_FOR_PUBLISHING.pdf,
https://www.entsoe.eu/Documents/SOC%20documents/Nordic/2023/2022_Nordic_and_Baltic_Grid_Disturbance_Statistics_FOR_PUBLISHING.pdf.

EZ-THUMP 3 kV and EZ-THUMP 4 kV | Portable Fault Location (megger.com)

ITU-T K.107, SERIES K: PROTECTION AGAINST INTERFERENCE - Method for determining the impedance to earth of earthing systems, TELECOMMUNICATION STANDARDIZATION SECTOR OF ITU, 2015-11-29.

Kungl. Vattenfallsstyrelsen, *Handbok för driftpersonal vid statens kraftverk, andra upplagan, del III, Kraftstationer, kraftledningar, ställverk*, 1943. (runeberg.org)

SFS 2016:732, *Elsäkerhetslag*, Sveriges riksdag, ändrad: t.o.m. SFS 2022:1135.

SFS 2017:218, *Elsäkerhetsförordning*, Sveriges riksdag, ändrad: t.o.m. SFS 2022:1198.

SS-EN 50522, utgåva 1, *Starkströmsanläggningar med nominell spänning överstigande 1 kV AC – Jordning*, 2011-03-09.

SS-EN 50522 utgåva 2, *Jordning av elinstallationer överstigande 1 kV AC*, 2022-04-20.

SS-EN IEC 61936-1, utgåva 2, *Starkströmsanläggningar med nominell spänning överstigande 1 kV AC – Del 1: Jordning*, 2022-04-20.

Svenska kraftnät, TR13-03-04 utg. 1.0, *Mätning av steg- och beröringsspänning*, 2022-01-10.

Telestörningsnämnden, *Allt går ju med elektricitet - Telestörningsnämnden 60 år*, 2020.

Telestörningsnämnden, *Störningsbok - Starkströmsanläggningars störande inverkan på andra anläggningar*, Svenska Elverksföreningen, 1980, ISBN 91-7622-008-7 (<https://www.svk.se/siteassets/aktorsportalen/entreprenorer-i-elnatet/telestorningsnamnden/utbildningsmaterial/storningsbok.pdf>)

Thorulf Arwidson, *En tändsticka tänds*,

(<https://arwidson.wordpress.com/2017/10/11/en-tandsticka-tands/>)

Vattenfall, *Ökande kortslutningseffekt i 400-70 kV näten. Problematik och åtgärder*,
Slutrapport från P_k-71 December 1973, Vattenfalls blåvita serie 73.1S,
ISBN 91-7186-002-9.

Vattenfall, *Uppföljning av P_k-71 utredningen, Omarbetade riktlinjer för 400 - 70 kV
näten*, mars 1990, Vattenfall, ISBN 91-7186-285-4.

Wikipedia, Maximilien Toepler.

Bilaga 1: Referenser och hur andra gör

1. INTRODUCTION

1.1 Background

DNV is supporting research conducted by Energiforsk (Swedish Energy Research Centre) and Svenska Kraftnät that addresses the proposal of the possible relaxation of the allowable touch potential level from around 220 V to 800 V on the low voltage (LV) side of premises. Before the relaxation can be achieved, the proposal must be addressed thoroughly from a safety perspective. Specific earthing and safety considerations in support or against the proposed relaxation are covered in this document.

1.2 The Proposal

The proposal was made to raise the maximum permitted touch voltage of 220 V addressed in Figure 1 below, to a maximum permissible voltage of 800 V [6] and to determine the effect on public safety and equipment safety.

The question – Textual I ELSÄK-FS 2022:1, ch. 5, § 7																															
Current regulatory text:																															
<i>γ In high-voltage installations with earth-fault currents exceeding 500 A, reassuring safety can be considered to exist if elevated ground potentials as a result of the earth fault current are equalized and occurring voltages do not exceed 220 V at a measuring resistance of 1 kΩm.</i>																															
Proposal for new regulatory text:																															
<i>γ In high-voltage installations with earth-fault currents exceeding 500 A, satisfactory safety can be considered to exist if elevated ground potentials as a result of the earth fault current are equalized and occurring voltages, for the respective maximum fault disconnection time, do not exceed the voltages specified in Table 1, at a measuring resistance of 1 kΩm</i>																															
- Alternatively, refer in the regulation to SS-EN 50522																															
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Maximum fault disconnection time [ms]</th> <th>Maximum permitted voltage [V]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>10</td><td>784</td></tr> <tr><td>20</td><td>763</td></tr> <tr><td>30</td><td>744</td></tr> <tr><td>40</td><td>728</td></tr> <tr><td>50</td><td>716</td></tr> <tr><td>60</td><td>704</td></tr> <tr><td>70</td><td>687</td></tr> <tr><td>80</td><td>680</td></tr> <tr><td>90</td><td>663</td></tr> <tr><td>100</td><td>654</td></tr> <tr><td>200</td><td>637</td></tr> <tr><td>300</td><td>413</td></tr> <tr><td>400</td><td>314</td></tr> <tr><td>500</td><td>220</td></tr> </tbody> </table>	Maximum fault disconnection time [ms]	Maximum permitted voltage [V]	10	784	20	763	30	744	40	728	50	716	60	704	70	687	80	680	90	663	100	654	200	637	300	413	400	314	500	220
Maximum fault disconnection time [ms]	Maximum permitted voltage [V]																														
10	784																														
20	763																														
30	744																														
40	728																														
50	716																														
60	704																														
70	687																														
80	680																														
90	663																														
100	654																														
200	637																														
300	413																														
400	314																														
500	220																														
	Table values must be updated																														
1 DNV GL ©	DNV																														

Figure 1: Proposal to raise the maximum permitted touch voltage from 220 V to a maximum permissible voltage of 800 V [6]

1.3 Motivation

Motivation to address the proposal, in general and from a safety perspective, stem from the following considerations (in no particular order):

Consideration 1 – Soil Resistivity: The soil resistivity in Sweden, is generally, of high level. During faults on the high voltage (HV) system and with a fault current exceeding 500 A, significant potentials may be transferred to residential or business premises near the HV system / installation and particularly to the LV system on the premises.

Figure 2 [1] and Table 1 [2] show typical soil resistivities in Sweden that led to the general conclusion that soil resistivity is relatively high ($> 1000 \Omega \cdot m$) in Sweden.

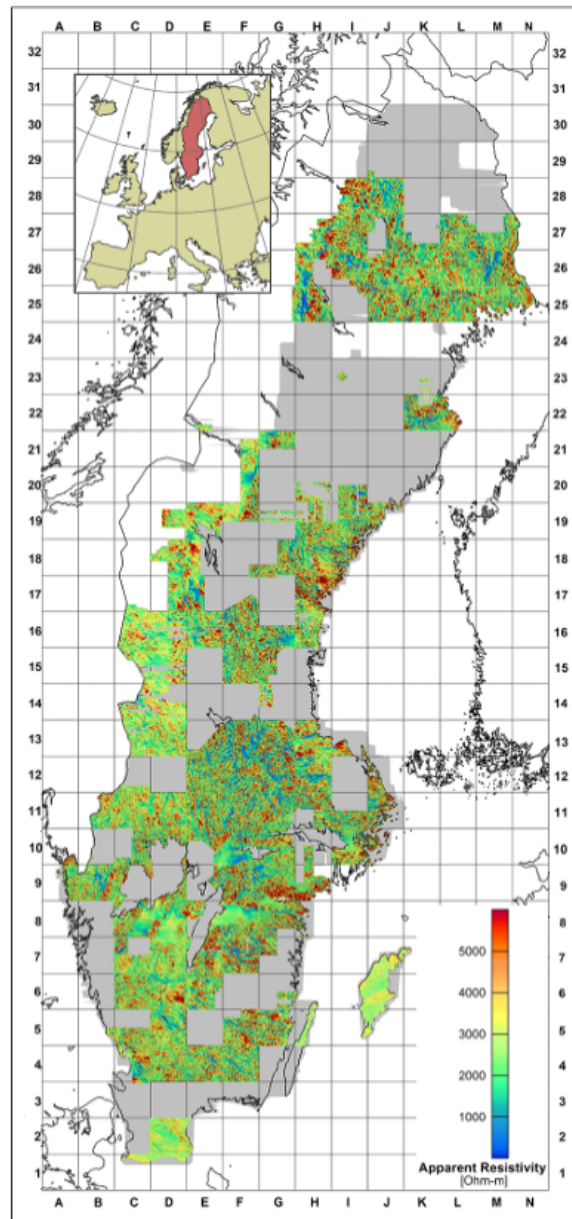


Figure 2: Map showing calculated apparent resistivities in a colour scale ranging from blue (low resistivity), through green and yellow to red (high resistivity). Grey colour shows areas with older VLF-data from where resistivities could not be reliably determined [1].

Table 1: Resistivity Ranges and Geometric Means for Different Soil Types [2].

Soil type	Number of soundings	Minimum interpreted resistivity (Ωm)	Maximum interpreted resistivity (Ωm)	Geometric mean (Ωm)
Fen, clayey gyttja	13	14	211	46
Till with boulders, sandy till, dry	9	2,540	21,501	9,940
Till with boulders, sandy till, wet	7	1,000	2,100	1,585
Wave-washed gravel, dry	1	6,100	6,100	–
Wave-washed gravel, wet	1	1,920	1,920	–
Glacifluvial sediment	1	4,430	4,430	–

Consideration 2 – Zone of Influence: Because of the high soil resistivity, the zone of influence (ZOI) presented by the earth potential rise (EPR) from an overhead line tower, for example, may extend several tens to hundreds of metres from the tower. The anticipated extension of power frequency EPR for different soil resistivities is conceptually shown for 1 kA passed into the soil, at the location of a conceptual fault, in Figure 3.

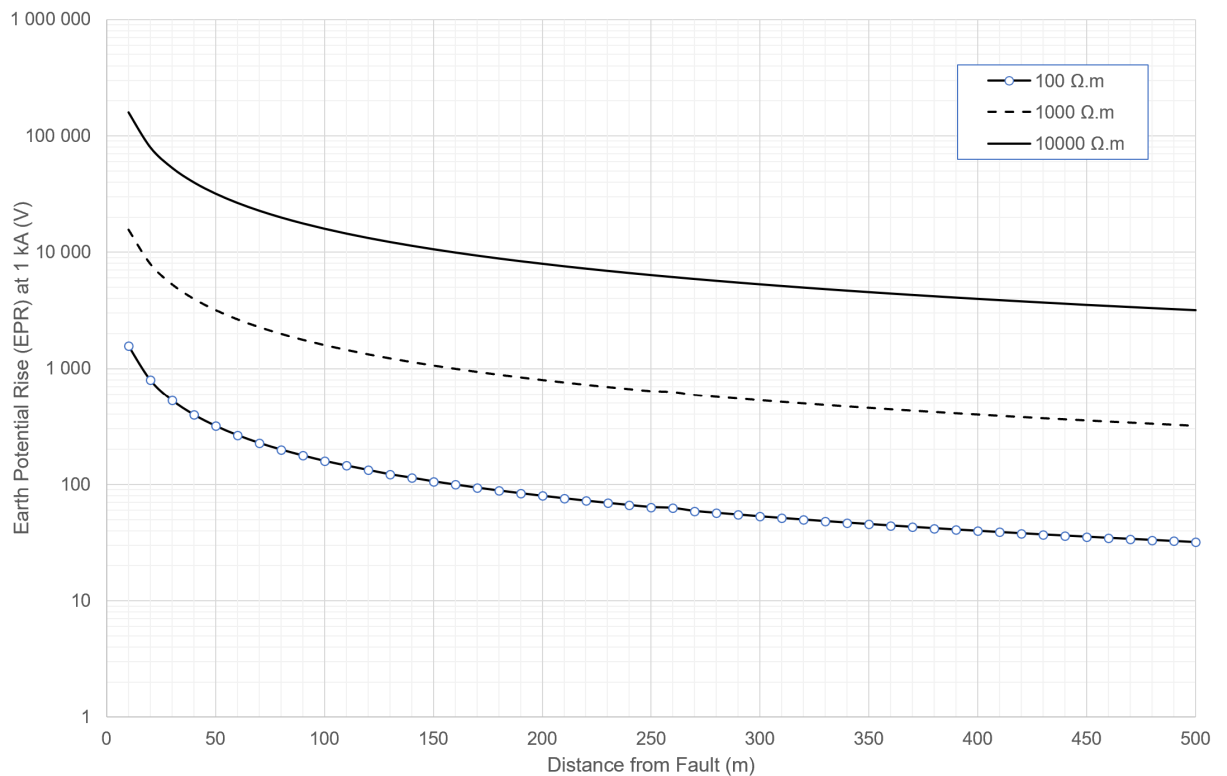


Figure 3: Anticipated extension of power frequency EPR for different soil resistivities for 1 kA passed into the soil, at the location of a conceptual fault (0 m).

From Figure 3 it can be seen that a 1 kV EPR is easily exceeded at distances of 500 m from the fault location (0 m) when the soil resistivity is 10 000 Ωm .

Figure 4 shows that the zone of influence, in terms of earth potential difference (EPD) taken over a 10 m distance, is approaching 150 m in the context of an equipment withstand of 1 kV and soil resistivity of 10 000 $\Omega\cdot\text{m}$.

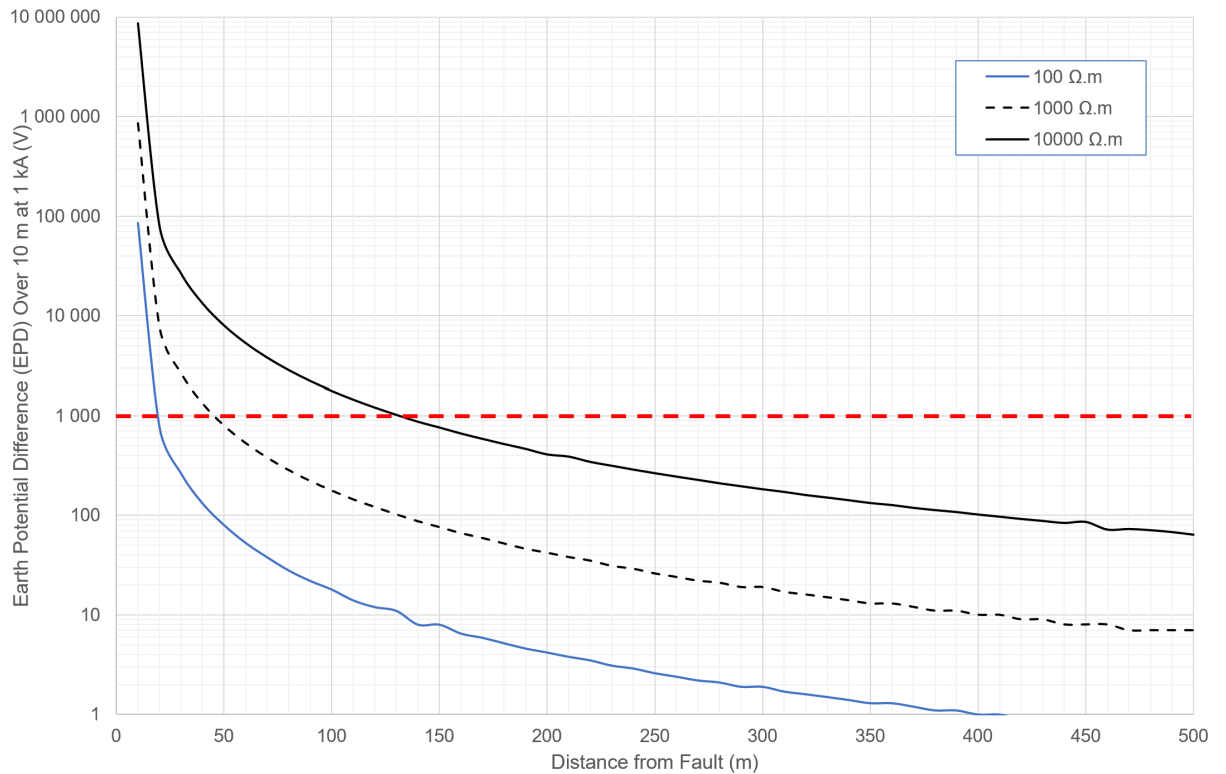


Figure 4: Zone of influence, in terms of earth potential difference (EPD) taken over a 10 m distance, in the context of an equipment withstand of 1 kV and at various soil resistivities.

Consideration 3 – LV Earthing: The earthing concept applied and associated with the low voltage (LV) system may play a significant part in the touch potential and equipment stress voltage at the premises. Table 2 shows examples of the LV Earthing Systems applied in various countries [3].

Table 2: Examples of the LV Earthing Systems applied in various countries [3].

country	LV earthing system	observations
Germany 230/400 V	TT and TN-C	the TN is the most commonly used; R_T must be $< 2 \Omega$; earth connection at the consumer's, even in TN
Belgium 230/400 V	TT	$R_u < 100 \Omega$ 30 mA RCD for sockets
Spain 230/400 V	TT	$R_u < 800 \Omega$ with 30 mA RCD at supply end of the installation
France 230/400 V	TT	$R_u < 50 \Omega$, (100 Ω shortly) 30 mA RCD for sockets
Great Britain 240/415 V	TT and TN-C	- town areas: TN-S and TN-C (New Est installations: 15 %), the earth connection ($< 10 \Omega$) of the neutral is provided by the distributor - rural areas: TT
Italy 230/400 V	TT	RCD with $I_{\Delta n}$ as a function of R_u ($I_{\Delta n} < 50/R_u$). For consumers without earth connection 30 mA RCD
Japan 100/200 V	TT	$R_u < 100 \Omega$, frequent use of 30 mA RCD, no search for equipotentiality
Norway 230/400 V	IT	premises in insulating materials and poor earth connections account for this choice. homes with signalling 30 mA RCD. tripping of connection circuit breaker if 2 faults.
Portugal USA 120/240	TT TN-C	$R_u < 50 \Omega$ (100 Ω as from 1995). earthing of neutral at LV consumers (all earth connections are connected to the source substation).

It is noted that the LV Earthing in Sweden is the TNC system. It is interesting to note that the IT earthing system is employed in Norway [7] and TNC / TNS systems are employed in Denmark [9].

The latest requirement in Sweden is that all conductive elements (water pipes, for example) must be bonded to the earth bar at the entry of the residence. However, there are more than 5 million older residences that do not comply with this requirement. It is thus necessary to consider elements both bonded at the residence and not bonded at the residence.

A comparison of the earthing systems is presented in Table 3 [8].

Table 3: A comparison of the earthing systems [8].

Earthing System Conditions	TN-C	TN-S	TN-C-S	TT	IT
Earth Fault Loop Impedance (EFLI)	Low	Low	Low	High	Highest
RCD Preference	No	Optional	Optional	Yes	N.A.
Need of Earth Electrode at Site	No	No	Optional	Yes	Yes
PE Conductor Cost	Least	Highest	High	Low	Low
Risk of Broken Neutral	Highest	High	High	No	No
Safety	Least safe	Safest	Safe	Safe	Less safe
Electromagnetic Interference	High	Low	Low	Least	Least
Safety risks	Broken neutral	Broken Neutral	Broken neutral	High loop Impedance (step voltages)	Double fault, over voltage

Consideration 4 – Gaps in Standards: Part of the motivation to address the proposal is because power frequency transferred potentials (for example, from HV overhead power line towers to LV systems are not addressed in standards, such as:

- ELSÄK-FS, The Swedish National Electrical Safety Board Regulations [4];
- ELSÄK-FS, The National Electrical Safety Board's Statute Book [5].

It is interesting to note from ELSÄK-FS (2022) [5] on Page 6:

“In the case of a low-voltage TN system connected to a power source from a high voltage system, single-pole earth fault in the connecting high-voltage system shall not cause an earth potential rise of more than 100 volts in the exposed-conductive parts of the low-voltage system. This only applies to TN systems leaving the high voltage area of influence.

Consideration 5 – Financial Incentive: Further motivation to address the proposal is that there is incentive to raise the 220 V touch voltage level to 800 V because of the challenges and cost associated with mitigating against transferred earth potential rise through security devices and isolation devices.

2. METHODOLOGY

2.1 Objective

The objective with this part of the study is to:

- Address specific earthing and safety considerations in support or against the proposed relaxation of the permissible voltage level;
- To prepare these for discussion at the next Project Meeting on 20 March 2024;
- Address the key questions.

It is specifically noted that:

- This part of the study as reflected in this document is not a detailed analysis and study but merely covers some initial points for discussion at the next Project Meeting;
- This document is a Working Document intended to show progress and is not meant to be a final report for review.

2.2 Scope of Work

The Scope of Work cover:

- Give attention to specific earthing and safety considerations in support or against the proposed relaxation of the permissible voltage;
- Address the specific earthing and safety considerations at a high level and summarise these for discussion at the next Project Meeting.

2.3 Key Questions

The following Key Questions were raised:

- In view of earth potential rise (EPR), what is the earth potential difference (EPD) that equipment can withstand and how is equipment stressed with the proposed relaxation of the permissible voltage?
- Is an earth point associated with the LV system at the residence more safe for public / equipment or not?
- Can a permissible voltage of 800 V instead of 220 V be considered for an LV system design?
- How do other countries address this matter?

2.4 Approach

This part of the study is conducted as a desk-top exercise with limited numerical modelling. Brief literature scans are included. Summaries of findings are presented in the main body of this document with more details covered in the Appendices.

2.5 Applicable Standards

Applicable standards are discussed in the sections to follow and are listed under References.

2.6 Exclusions

The study focuses only on power frequency (50 Hz) fault conditions, mainly on the HV system, and excludes and transient effects from surges, such as lightning or switching surges.

2.7 Balance of Report

The balance of the report covers the findings from the following considerations:

- Evolution of the Study Focus
- Relationship between Directives, Standards and Regulations
- The TNC LV Earthing System
- Withstand of a Typical Sensitive Electronic Device
- A simplified numerical model of a typical case.
- How do other countries treat this issue?

Where necessary, more details are offered in an Appendix with a summary presented in the main body of the report.

3. FINDINGS – EVOLUTION OF STUDY FOCUS

With the basis of the study covered in Sections 1 and 2, further consideration of the problem led to the evolution of the study focus as summarised below:

Focus on

- i) Human Safety – Touch Voltage mainly;
- ii) Equipment Safety – Sensitive electronic equipment on the LV System;
- iii) The context of Swedish TNC LV Earthing System

The study to include:

- Focus on transferred potentials;
- Compare systems earthed at the residence / not earthed at the residence.

The motivation is that systems earthed at the residence may be safe to humans but less safe to equipment and visa-versa.

Further, from earlier discussions at the 14 Feb 2024 Project Meeting, it was suggested that the following categories should be considered in the study:

Categories

- Level 1: Equipment interfered with but equipment is operational – is it safe?
- Level 2: Equipment damaged but safe / unsafe
- Level 3: Equipment destroyed but safe

4. FINDINGS – RELATIONSHIP: DIRECTIVES, STANDARDSS & REGULATIONS

4.1 General

In this section the relationship between standards in the context of the study are explored. A summary of the findings is presented with more details covered in Appendix A.

4.2 Directives / Standards / Regulations

The following standards, directives and regulations, as summarised in Table 4, were considered. Table 4 also shows the interrelationship between the Directives / Standards / Regulations.

Table 4: Summary of Standards, Directives and Regulations considered and Interrelationship between them.

No	Standard / Directive / Regulation	Makes Reference to (Normative Reference)	References	Remarks
1	LV Directive 2014/35/EU	EN 60335 Series	[10]	
2	EMC Directive 2014/30/EU	EN 61000 Series EN 61439-1 EN 62684	[13]	EN 61000 Series covers EMC; EN 61439-1 covers LV switchgear; EN 62684 covers power supplies for mobile phones.
3	EN 60335-2-29		[19, 20]	EN 60335-2-29 covers battery chargers.
4	EN 61000			Covers EMC requirements
5	EN 61439-1		[14]	Covers Low Voltage Switchgear and Control Gear Assemblies
6	EN 62684	EN 62368-1	[15]	IEC 62368-1 covers safety requirements of communication technology equipment.
7	EN 62368-1	EN 60364-4-44	[16, 17]	IEC 60364-4-44 covers safety and EMC of LV installations.
8	EN 62368-1		[17]	Covers safety of audio / video, information and communication equipment.
9	EN 60364-4-44		[18]	Cover safety against disturbances associated with Low Voltage electrical installations.

4.3 Withstand Levels Extracted

Table 5 presents a summary of the withstand levels extracted from the Directives / Standards / Regulations noted in Table 4. More details are presented in Appendix A.

Table 5: Summary of the withstand levels extracted from the Directives / Standards / Regulations noted in Table 4.

No	Standard / Directive / Regulation	Withstand Voltage Level	Remarks
1	EN 60335-1 / EN 60335-2-29	1000 V	From Table A-1: The voltage level for electric strength testing, as per EN 60335-1 [20] (one minute application), for basic insulation is 1000V.
2	EN 62368-1	2500 V	From [17], the test voltage is 2500 V.
3	EN 60364-4-44	1450 V	From [18], the test voltage is $U_0 + 1200$ V. Assuming $U_0 = 250$ V then the test level is 1450 V.
4	UL 6095098 / UL 6230	1500 V	From Section 8, the withstand voltage of 1500 V [22], will be considered for LV equipment and LV cables, for the discussion in this study.

For the discussion relevant to the study, the conservative level of 1000 V (as per EN 60335-1 [20]) will be used, also in further analysis.

(Note: For the preliminary investigation stage, no further analysis or study was done in terms of the variance for the different test levels. Answers to this question will require a deeper analysis).

5. FINDINGS – TNC LV EARTHING SYSTEM

Figure 5 conceptually shows the application of a TNC system. The TNC system is employed in Sweden.

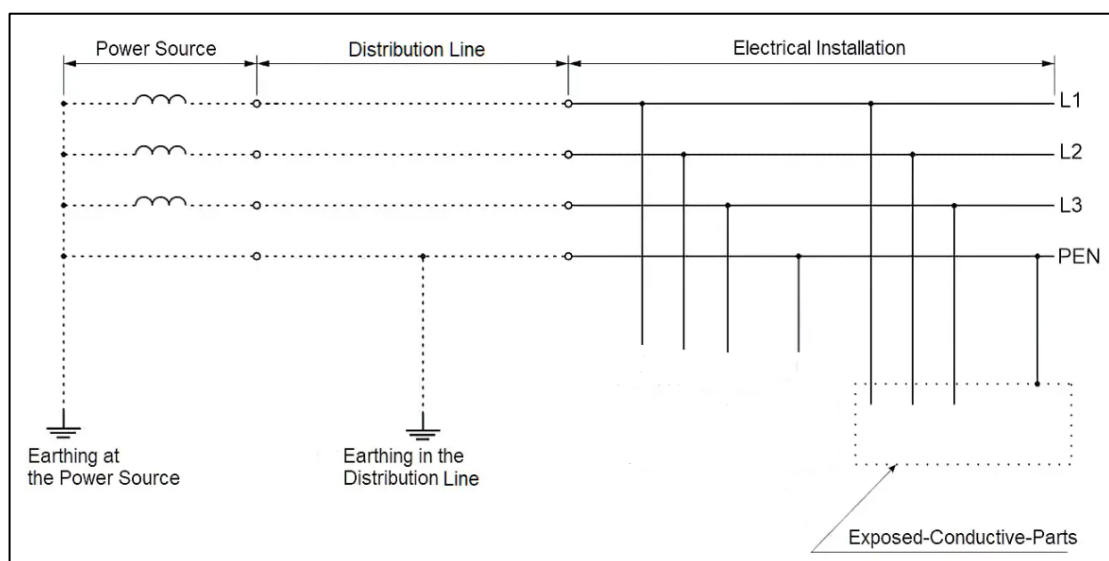


Figure 5: 3-Phase TNC System (4 wire with neutral and protective conductor that functions in a combined conductor in the distribution system (based on Figure 31C1 IEC 60364-1).

For the discussion and in the analysis addressed in this study, the following two cases will be considered: i) the system earthed at Power Source (the transformer) but not at the Electrical Installation (the residence); ii) the system earthed at Power Source (the transformer) and earthed at the Electrical Installation (the residence).

6. FINDINGS – WITHSTAND OF A TYPICAL SENSITIVE ELECTRONIC DEVICE

6.1 Example Device Selected

As an example of a sensitive piece of electronic equipment, to be used in the context of this discussion, the example of an external power supply / charger for a mobile phone was randomly selected. See more details in Appendix B.

6.2 Specific Mobile Phone Charger Selected

Figure 6 shows the example phone charger selected for the discussion.

From Figure 6 it can be seen that the device carries the CE mark indicating its compliance with the EMC Directive. The Compliance Certificate is presented in Appendix B.



Figure 6: Example phone charger selected for the discussion: 4SMARTS Wall Charger.

6.3 EU Compliance

From the EU Declaration of Conformity Certificate of the 4SMARTS Wall Charger (see Appendix B for details) and from a safety and an electromagnetic compatibility perspective, it is noted that the 4Smarts Wall Charger complies with the following standards:

Safety: EN 62368-1 [17];

EMC: EN 55032 (CISPR 32) [23];
EN 55035 (CISPR 35) [24];
EN 61000-3-2 [25];
EN 61000-3-3 [26].

6.4 The Safety and EMC Standards Applicable

6.4.1 Safety

The safety standard EN 62368-1 [17] has been addressed earlier in this document.

6.4.2 The EMC Standards

EN 55032 (CISPR 32)

EN 55032 [23] is an emission standard and defines specific tests that are designed to identify electromagnetic emissions propagating / emanating from the equipment and that such emissions are within an acceptable electromagnetic range. For this reason, the equipment is not considered a source of interference. Two types of emissions are considered:

- Radiated Emission and
- Conducted Emission.

EN 55032 covers two classes of equipment:

- Class A – all equipment (including commercial and industrial products) must comply with Class A limits;
- Class B – any equipment which is mainly used in a residential environment;

Class B limits are more stringent than Class A limits and are designed for equipment that is intended to be used in the vicinity of others and are therefore more challenging to meet.

It is noted that IEC CISPR 32 makes reference to a specific EMC standard (see Appendix B for details).

EN 55035 (CISPR 35)

EN 55035 [24] is an immunity standard and defines specific tests that are designed to enable manufacturers to demonstrate that their equipment is designed to withstand interference presented to it either:

- As Radiated Immunity / Susceptibility or
- As Conducted Immunity.

It is noted that IEC CISPR 35 makes reference to specific EMC standards (see Appendix B for details).

EN 61000-3-2

EN 61000-3-2 [25] covers limits for harmonic current emissions (equipment input current ≤ 16 A per phase).

EN 61000-3-3

EN 61000-3-3 [26] covers limitation of voltage changes, voltage fluctuations and flicker in public low-voltage supply systems, for equipment with rated current ≤ 16 A per phase and not subject to conditional connection.

6.5 Criterion Selected for Electric Withstand and for Discussion

Despite the fact that:

- EN 60364-4-44 [18] suggests a permissible power frequency stress voltage to equipment in low voltage installations as 1440 V (see Appendix A) and
- The safety standard EN 62368-1 [17] makes reference to 2500 V (see Table 5 and see Appendix B) as a safe voltage level for equipment,

for the purposes of this discussion, the withstand level of 1000 V was conservatively assumed.

7. FINDINGS – SIMPLIFIED MODEL & TYPICAL CASE STUDY

7.1 Model Referenced to Schematic Illustrations

With reference to Figure 7 and Figure 8, a simplified numerical model was developed as shown in Figure 9.

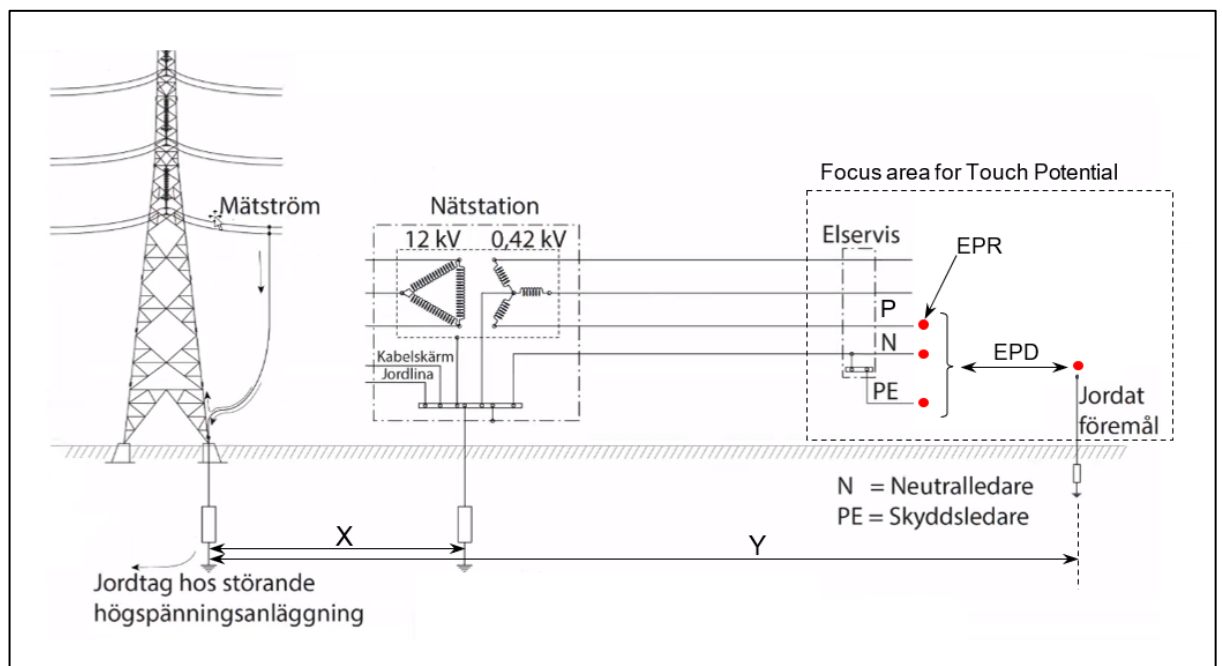


Figure 7: Circuit diagram and illustration of the high voltage power line tower with power frequency fault at the tower. The MV / LV transformer is located at a distance X from the HV power line tower and the Distribution Panel inside the residence, as well as the focus area for touch potentials, located at a distance Y from the HV power line tower (Main image: Courtesy Alija Cosic (Svenska Kraftnät)).

From Figure 9 it can be seen that, the Phase conductor (P), the Neutral (N) and the Protective Earth conductor (PE) aligns with that shown in Figure 7. In the discussion to follow, the earth potential rise (EPR) on the P, N and PE conductors will be addressed

with the earth potential difference (EPD) reference to the earthing point as shown in in Figure 7 at the focus area for Touch Potentials.

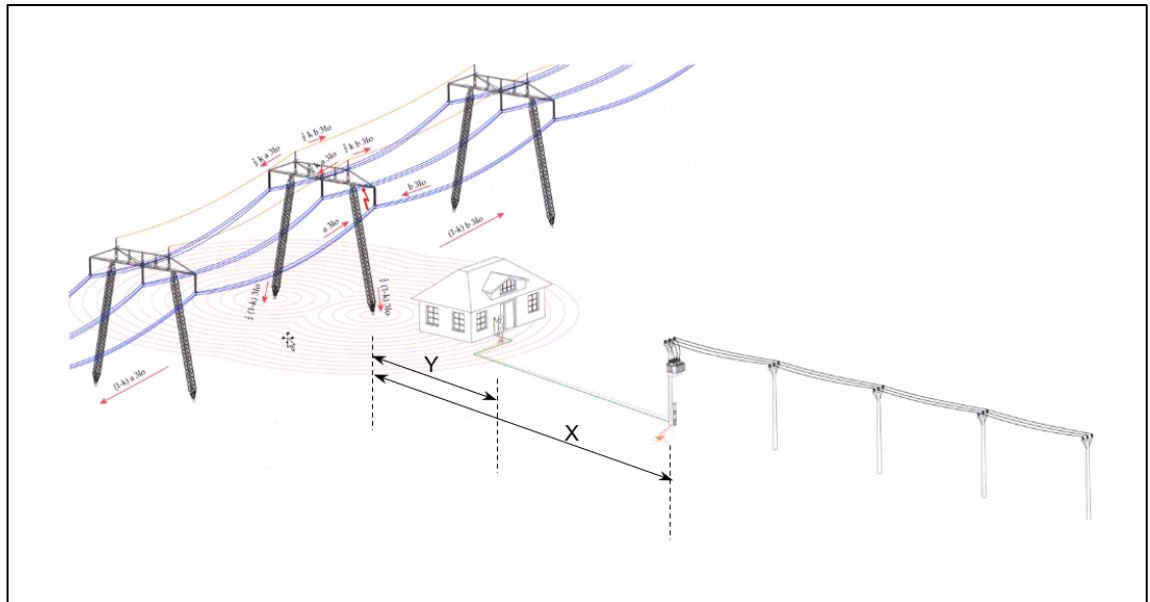


Figure 8: Schematic illustration of the high voltage power line tower with power frequency fault at the tower. The MV / LV transformer is located at a distance X from the HV power line tower and the Distribution Panel inside the residence, located at a distance Y from the HV power line tower (Main image: Courtesy Alija Cosic (Svenska Kraftnät)).

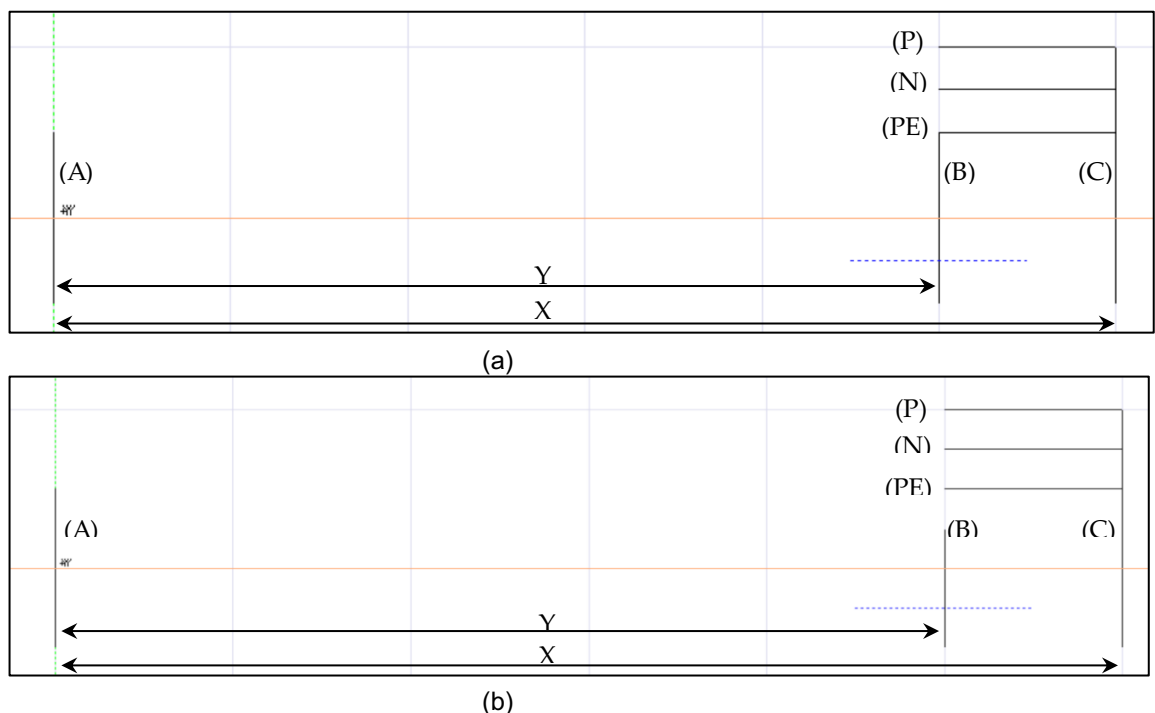


Figure 9: Simplified numerical model: (a) PE earthed at distribution board inside the residence; (b) PE earthed at MV / LV transformer; (A) – Fault current passing into soil at HV tower leg; (B) – Earth Reference at Distribution Board; (C) Earth at MV / LV Transformer.

Specific Note: It is specifically noted that the numerical model incorporated the following:

- A fault current of 1 kA was injected at the fault point (A in Figure 9) into the soil;
- A homogenous soil with 100 Ω .m was used in the assessment.

The findings should be viewed against these parameters as they do not present worst case situations and will depend on the soil resistivity at the site as well as the fault current passed onto the soil at the tower.

7.2 Cases Considered

Table 6 offers a description of the 6 x cases considered with reference to Figure 9.

Table 6: Summary of the 6 x cases considered with reference to Figure 9.

Case No	Description
1	Earthed at Residence (Y = 10 m); Earthed at MV/LV Transformer (X = 10 m)
2	Earthed at Residence (Y = 10 m); Earthed at MV/LV Transformer (X = 50 m)
3	Earthed at Residence (Y = 10 m); Earthed at MV/LV Transformer (X = 100 m)
4	Not Earthed at Residence (Y = 10 m); Earthed at MV/LV Transformer (X = 10 m)
5	Not Earthed at Residence (Y = 10 m); Earthed at MV/LV Transformer (X = 50 m)
6	Not Earthed at Residence (Y = 10 m); Earthed at MV/LV Transformer (X = 100 m)

7.3 Summary of Findings

Table 7 offers a summary of the findings from the 6 x cases considered with more details presented in Appendix C.

Table 7: Summary of the Findings from the 6 x Cases Considered in the Simplified Numerical Model.

No	Description	Live (P)	Neutral (N)	Earth (PE)	Remarks
Case 1 – Earthed at Residence (Y = 10 m); Earthed at MV/LV Transformer (X = 10 m)					
1	EPR	1455 V	1455 V	1455 V	
2	EPD	0,005 V	0,002 V	Ref	Safe (< 1000 V)
3	Touch Potential (220 V)				Safe (< 220 V)
4	Touch Potential (800 V)				Safe (< 220 V)
Case 2 – Earthed at Residence (Y = 10 m); Earthed at MV/LV Transformer (X = 50 m)					
1	EPR	947 V	947 V	947 V	
2	EPD	0,1 V	0,093 V	Ref	Safe (< 1000 V)
3	Touch Potential (220 V)				Safe (< 220 V)*
4	Touch Potential (800 V)				Safe (< 220 V)*
Case 3 – Earthed at Residence (Y = 10 m); Earthed at MV/LV Transformer (X = 100 m)					
1	EPR	871 V	871 V	872 V	
2	EPD	0,26 V	0,23 V	Ref	Safe (< 1000 V)
3	Touch Potential (220 V)				Safe (< 220 V)*
4	Touch Potential (800 V)				Safe (< 220 V)*
Case 4 – Not Earthed at Residence (Y = 10 m); Earthed at MV/LV Transformer (X = 10 m)					
1	EPR	1324 V	1324 V	1324 V	
2	EPD (Ref to earth at 10 m)	263 V	263 V	263 V	Safe (< 1000 V)
3	Touch Potential (220 V)				Unsafe (263 V)
4	Touch Potential (800 V)				Safe (< 439 V)
Case 5 – Not Earthed at Residence (Y = 10 m); Earthed at MV/LV Transformer (X = 50 m)					
1	EPR	306 V	306 V	306 V	
2	EPD (Ref to earth at 10 m)	1281 V	1281 V	1281 V	Unsafe (1000 V)
3	Touch Potential (220 V)				Unsafe (1333 V)
4	Touch Potential (800 V)				Unsafe (1325 V)
Case 6 – Not Earthed at Residence (Y = 10 m); Earthed at MV/LV Transformer (X = 100 m)					
1	EPR	156 V	156 V	156 V	
2	EPD (Ref to earth at 10 m)	1431 V	1431 V	1431 V	Unsafe (1000 V)
3	Touch Potential (220 V)				Unsafe (1468 V)
4	Touch Potential (800 V)				Unsafe (1445 V)

* Safe only in immediate vicinity of earth point.

From Table 7, the following is noted:

- The situation is safer, for both equipment and people, with the PE connected to an earth point at the residence / distribution board, even with the MV / LV transformer tens of metres away from the residence;
- With the PE connected to an earth point at the residence / distribution board, the touch potentials comply to both 220 V and 800 V, even with the MV / LV transformer tens of metres away from the residence;

- With the PE not connected to an earth point at the residence / distribution board, the touch potentials comply only at 800 V. The touch potentials are unsafe in view of a permissible touch voltage of 220 V. Equipment is safe in terms of stress voltage;
- For all other cases considered, both equipment and people are unsafe.

8. FINDINGS – APPROACH IN OTHER COUNTRIES

8.1.1 Approach in Other Countries – Specific to TNC LV Earthing Systems

This Section attempts to answer the question, how is safety ensured in other countries using the TNC earthing system? From [7] it is noted that:

The TN-C requires additional equipotential considerations:

- For the distributing authority [7]:
 - “In the USA: Installation of an additional conductor throughout the MV and LV distribution with earthing every 400 m” [7];
 - “In Great Britain, numerous earth connections are installed on the town public LV network neutral, if TN-C used, thus meaning consumers may not need their own earth connections” [7];
 - “In Germany, an earth connection is made for the neutral just upstream from the consumer’s connection point” [7].
- For the consumer [7]: “As a rule, connection to the protection conductor of the metal structures of the building and all the metal ducts”.

8.1.2 Approach in Other Countries – Specific to LV Cables (and Equipment)

This Section attempts to answer the question, what differences exist in other countries in view of LV cables and equipment? This question was answered by comparing the IEC approach to that that employed by the Underwriters Laboratory in North America as captured in [22]. The following excerpts are presented [22]:

- “The newer UL standards which are IEC-derived take a slightly different approach. The standard for computer and communications equipment (UL 6095098) specifies a basic 1000 V(rms) withstand voltage requirement for electrical insulation. Audio and video equipment (UL 6006599) are required to withstand 1410 V(peak), which is essentially identical to 1000 V(rms). These IEC derived standards also prescribe a separate mains-overvoltage transient test, comprising four different “levels” at which the test may be conducted. For 120 VAC-rated equipment, these levels are 800, 1500, 2500, and 4000 V(peak), but for most equipment only the 1500 V level is applied” [22].
- “Different withstand-voltage requirements are prescribed by UL for wires, cords, and cables. For example, UL 6230 requires a withstand voltage of 1500 V(rms) for the SPT family of flexible cords and 2000 V(rms) for the SJ family. For other classes of wiring within the same standard, requirements tend to increase with conductor size, going from 1000 V(rms) for 27 AWG type TPT cords, up to 4000 V(rms) for 8 AWG

type E cables; in most cases, however, values around 1500 – 2000 V(rms) are mandated. For non-metallic NM cables used for building purposes, however, UL 719104 requires 5000 V(rms)” [22].

From the above, the withstand voltage of 1500 V will be considered for LV equipment and LV cables, for the discussion in this study.

8.1.3 Approach in Other Countries – Specific to IEC 60335-1

This Section attempts to answer the question, what differences exist in other countries in view of the application of IEC 60335-1[20]? This question was answered from the following excerpts from IEC 60335-1 [20]:

The following differences exist in the countries indicated below.

- Introduction: The Part 1 standard (UL60335-1) is only used in combination with a part 2 (UL60335-2-x). National differences are specified in these standards (USA).
- 5.7: The ambient temperature is $25\text{ °C} \pm 10\text{ °C}$ (Japan).
- 5.7: The ambient temperature is $27\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$ (India).
- 6.1: Class 0 appliances and class 0I appliances are not allowed (Australia, European Union, India, Israel,
- New Zealand, Norway, Singapore, Switzerland, United Kingdom).
- 7.12.2: The requirements for full disconnection do not apply (Japan).
- 7.12.8: The maximum inlet water pressure shall be at least 1,0 MPa (Denmark, Norway, Sweden and Finland).
- 13.2: The test circuit and some leakage current limits are different (India).
- 19.5: The test is also applicable to appliances intended to be permanently connected to fixed wiring (Norway).
- 22.2: The second paragraph of this subclause dealing with single-phase class I appliances with heating elements cannot be complied with because of the supply system (France).
- 22.2: The second paragraph of this subclause, that deals with single-phase, permanently connected class I appliances having heating elements, is not applicable due to the supply system (Norway).
- 22.2: Double-pole switches or protective devices are required (Norway).
- 25.3: A set of supply leads is not permitted (Norway, Denmark, Finland, Netherlands).

- 25.8: 0,5 mm² supply cords are not allowed for class I appliances (Australia and New Zealand).

From the above, there is no indication that the Test Voltage Levels vary in terms of specific countries.

9. CONCLUDING REMARKS

9.1 Conclusions

Specific earthing and safety considerations, in support or against the proposed relaxation of the allowable touch voltage from 220 V to 800 V, are covered in this document. The study focus was on Human Safety (Touch Voltage mainly) and Equipment Safety (Withstand of sensitive electronic equipment on the LV System) in the context of Swedish TNC LV Earthing System.

As an example of a sensitive piece of electronic equipment, used in the context of this discussion, the example of an external wall charger for a mobile phone (CE compliant) was arbitrarily selected.

This preliminary investigation also included simplified numerical modelling in support of specific technical arguments.

From the preliminary investigation, the following conclusions were drawn:

- The withstand level of 1000 V was conservatively assumed.
- From EN 60364-4-44 [18], raising the fault voltage to 800 V requires a fault clearing time of less than 20 ms.
- From the simplified numerical model, the following was noted:
 - The situation is safer, for both equipment and people, with the PE connected to an earth point at the residence / distribution board, even with the MV / LV transformer tens of metres away from the residence;
 - With the PE connected to an earth point at the residence / distribution board, the touch potentials comply to both 220 V and 800 V, even with the MV / LV transformer tens of metres away from the residence;
 - With the PE not connected to an earth point at the residence / distribution board, the touch potentials comply only at 800 V. The touch potentials are unsafe in view of a permissible touch voltage of 220 V. Equipment is safe in terms of stress voltage;
 - For all other cases considered, both equipment and people are unsafe.

Specific Note: It is specifically noted that the numerical model incorporated the following:

- A fault current of 1 kA was injected at the fault point (A in Figure 9) into the soil;

- A homogenous soil with 100 Ω .m was used in the assessment.

The findings should be viewed against these parameters as they do not present worst case situations and will depend on the soil resistivity at the site as well as the fault current passed onto the soil at the tower.

- In answering the Key Questions, the following is offered based on the findings of this preliminary investigation:-
 - **Question 1:** In view of earth potential rise (EPR), what is the earth potential difference (EPD) that equipment can withstand and how is equipment stressed with the proposed relaxation of the permissible voltage?

Response: Following a standards approach, the equipment withstand (stress voltage) was conservatively set at 1 kV. It is noted that this value may be relaxed to 1,4 kV based on [EN 60364-4-44 [18]].

The proposed relaxation of the permissible touch voltage to 800 V is not considered to negatively impact on the equipment stress potential because: i) The 800 V level is lower than the 1000 V level; ii) The 800 V is associated with a fault with a clearing time of less than 20 ms; iii) The 1000 V withstand is associated with an applied time of some minutes Typically 3 minutes).

- **Question 2:** Is an earth point associated with the LV system at the residence safer for public / equipment or not?

Response: This answer depends on the fault current component that passes into the soil (to present the earth potential rise) and the soil resistivity. With fault current component of 1 kA and less passing into the soil and with a 100 Ω .m soil resistivity, there is strong suggestion that the situation is safer, for both equipment and people, with the PE connected to an earth point at the residence / distribution board, even with the MV / LV transformer tens of metres away from the residence.

The latter must be confirmed for higher fault current into the soil and different soil resistivities.

- **Question 3:** Can a permissible voltage of 800 V instead of 220 V be considered for an LV system design? Especially in view of the three categories (Level 1 to Level 3)

Response: The 800 V can be considered provided that the following conditions can be met:

- The 800 V fault clearing time is less than 20 ms and in accordance with EN 60364-4-44 [18].

- The distribution board is earthed at the residence;
- The earthing system at the residence is such that no threatening transferred potentials are presented on the LV system at the residence.

Because the equipment will be safe as noted in Question 2, the context of operational / damaged equipment in the classification below becomes irrelevant:

- Categories
- Level 1: Equipment interfered with but equipment is operational – is it safe?
 - Level 2: Equipment damaged but safe / unsafe
 - Level 3: Equipment destroyed but safe

- **Question 4:** How do other countries address this matter?

Response: Low voltage earthing systems may vary from country to country and may include systems, such as, TNC; TNS; TT and IT systems. Despite the variation in earthing systems, European Norms (EN standards) require specific equipment withstand of equipment employed on LV systems. Based on the EN standard, as discussed, these withstand levels are the same, irrespective of country. Because of the fixed standard the issue of transferred potential is addressed in the context of the earthing system employed.

9.2 Recommendations

The following recommendations are made (in no particular order):

- The preliminary investigation, reported in this document, is limited in terms of the fault current and soil resistivity considered in the simplified numerical modelling. For this reason, it is recommended that a wider range of fault current and soil resistivity should be considered with a more realistic numerical model to affirm / dispute the findings of this preliminary study.

10. REFERENCES

- [1] chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://www.sgu.se/globalassets/om-sgu/verksamhet/kartlaggning/resistivity-2024.pdf, Last Accessed 22 Feb 2024 (Airborne Geophysics, Resistivity, Jan 2024).
- [2] H Thunehed, Oskarshamn Site Investigation - Vertical Electric Sounding and Inversion of Helicopter-borne EM Measurements, October 2006.
- [3] Cahier Technique Merlin Gerin No 173, Earthing Systems Worldwide and Evolutions, Sep 1995.

- [4] ELSÄK-FS, The Swedish National Electrical Safety Board Regulations - Regarding Design and Erection of Electrical Installations and General Advice when Applying these Regulations, 2004.
- [5] ELSÄK-FS, The National Electrical Safety Board's Statute Book, Regulations and General Advice of the National Electrical Safety Board Regarding the Installation of Electrical Installations, Apr 2022.
- [6] D Karlsson, The Impact of Directly Grounded High-Current Installations on the Environment in Case of Short Disconnection Time and High Touch Voltage, Project Meeting, 14 February 2024.
- [7] B Lacroix, R Calvas, Earthing Systems Worldwide and Evolutions, Cahier Technique Merlin Gerin, No 173, September 1995.
- [8] R Panchal, K Patel, Electrical Safety Earthing, International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT), Vol 9, Issue 5, May 2020.
- [9] Danish Energy, Recommendation 29, Technical Terms and Conditions for Prefabricated 10 - 20 kV / 0,4 kV Secondary Distribution Substations, 1st Edition, 2022.
- [10] Directive 2014/35/EU of the European Parliament and of the Council of 26 February 2014 on the harmonisation of the laws of the Member States relating to the making available on the market of electrical equipment designed for use within certain voltage limits.
- [11] <https://www.productip.com/kb/productipedia/compliance-resources/low-voltage-directive-and-en-60335>, Last Accessed 20 Feb 2024.
- [12] A A Saliba, A Common Charger for Electronic Devices - Revision of the Radio Equipment Directive - Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council Amending Directive 2014/53/EU on the Harmonisation of the Laws of the Member States Relating to the Making Available on the Market of Radio Equipment, Directive (EU) 2022/2380, OJ L 315, 7.12.2022, pp. 30–43, 2022.
- [13] Directive 2014/30/EU of the European Parliament and of the Council of 26 February 2014 on the Harmonisation of the laws of the Member States relating to Electromagnetic Compatibility (EMC).
- [14] EN 61439-1, Low-Voltage Switchgear and Control Gear Assemblies - Part 1: General Rules, 2011.
- [15] EN 62684, Interoperability Specifications of Common External Power Supply (EPS) for Use with Data-Enabled Mobile Telephones, 2018.
- [16] <https://www.electronicproducts.com/understanding-the-iec-62368-1-standard-for-electronic-equipment/>, Last Accessed 22 Feb 2024.
- [17] EN 62368-1, Audio / Video, Information and Communication Technology Equipment - Part 1: Safety Requirements, 2023.
- [18] EN 60364-4-44, Low-Voltage Electrical Installations – Part 4-44: Protection for Safety – Protection Against Voltage Disturbances and Electromagnetic Disturbances, Edition 2.2, 2018.
- [19] EN 60335-2-29, Household and Similar Electrical Appliances – Safety – Part 2-29: Particular Requirements for Battery Chargers, 2019.

- [20] EN 60335-1, Household and Similar Electrical Appliances – Safety – Part 1: General Requirements, Edition 6.0, Sep 2020.
- [21] <https://www.electronicproducts.com/understanding-the-iec-62368-1-standard-for-electronic-equipment/>, Last Accessed 22 Feb 2024.
- [22] V Babrauskas, Mechanisms and Modes for Ignition of Low-Voltage PVC Wires, Cables, and Cords, pp 291 to 309, Fire & Materials, Inter-Science Communications Ltd, London, 2005.
- [23] IEC CISPR 32, Electromagnetic Compatibility of Multimedia Equipment – Emission Requirements, 2019.
- [24] IEC CISPR 35, Electromagnetic Compatibility of Multimedia Equipment – Immunity Requirements, 2016.
- [25] EN 61000-3-2, Electromagnetic Compatibility (EMC) – Part 3-2: Limits – Limits for Harmonic Current Emissions (Equipment Input Current ≤ 16 A per Phase), 2018.
- [26] EN 61000-3-3, Electromagnetic Compatibility (EMC) - Part 3-3: Limits - Limitation of Voltage Changes, Voltage Fluctuations and Flicker in Public Low-voltage Supply Systems, for Equipment with Rated Current ≤ 16 A per Phase and Not Subject to Conditional Connection, 2021.

APPENDIX A – SUPPORTING DIRECTIVES / STANDARDS / REGULATIONS

A.1 Low Voltage Directive (LVD - 2014/35/EU)

All household appliances (with voltage rated no more than 250 V for single-phase and 480 V for three phase) that are sold on the European market, must comply with the scope of the LVD (Directive 2014/35/EU) [10, 11].

For these appliances, the EN 60335 series of standards can be used to show compliance with the safety objectives of the LVD [11].

The EN 60335 standards can also be applied for battery-powered household appliances [11].

A.2 Electromagnetic Compatibility Directive (EMCD - 2014/30/EU)

All electric and electronic products introduced to the European market must comply with Directive 2014/30/EU in terms of electromagnetic compatibility (EMC). Such compliance is usually demonstrated by the required CE marking [13].

The directive typically applies to products that contain electronics or active electrical components. This is regardless of whether these are mains-powered or battery-powered products.

The following standards are applicable to the EMC Directive:

- EN IEC 61000 series of standards;
- EN IEC 61439-1 (Low-voltage switchgear and control gear assemblies - Part 1: General rules, 2011)

Specifically in the context of the example that will be addressed, AC Adapters, such as,

- AC adapters for laptops
- AC adapters for mobiles
- AC adapters for home appliances
- AC adapters for printers

are also covered by the EMC Directive. AC Adapters for mobile phones are covered through the specific standards:

- EN 62684 – Interoperability specifications of common external power supply for use with data-enabled mobile telephones;
- EN 63002 – Identification and communication interoperability method for external power supplies used with portable computing devices;

A.3 EN 60335

11.3.1 General Requirements

EN 60335-1 applies to electrical appliances for household environments and commercial purposes and with voltage rating of no more than 250 V (single-phase) and 480 V (three phase) [11]. The standard provides safety rules that products must comply with. This standard deals with the reasonably foreseeable hazards presented by appliances that are encountered by all persons.

The following points are highlighted [11]:

- Household environments and commercial purposes include appliances and machines intended to be used by expert or trained users in shops, light industry and on farms, and appliances and machines which are declared to be for commercial use by lay persons;
- Applicability to 'all persons' does not include the risk of children playing with the appliance, the use of the appliance by very young children or by young children without supervision. Also, very vulnerable people may have needs beyond the level addressed in this standard. If the device will be used in the latter context, a further risk assessment of these risks will be required [11].

A.3.2 Series of Standards

The EN 60335-2-series of standards cover specific requirements for certain appliances. There are more than 100 standards in this series [11]. A list is presented below [11]:

- 60335-2-1 -
- 60335-2-2 Vacuum cleaners and water-suction cleaning appliances
- 60335-2-3 Electric irons
- 60335-2-4 Spin extractors
- 60335-2-5 Dishwashers
- 60335-2-6 Stationary cooking ranges, hobs, ovens and similar appliances
- 60335-2-7 Washing machines
- 60335-2-8 Shavers, hair clippers and similar appliances
- 60335-2-9 Grills, toasters and similar portable cooking appliances
- 60335-2-10 Floor treatment machines and wet scrubbing machines
- 60335-2-11 Tumble dryers
- 60335-2-12 Warming plates and similar appliances
- 60335-2-13 Deep fat fryers, frying pans and similar appliances
- 60335-2-14 Kitchen machines
- 60335-2-15 Appliances for heating liquids
- 60335-2-16 Food waste disposers
- 60335-2-17 Blankets, pads, clothing and similar flexible heating appliances
- 60335-2-18 -
- 60335-2-19 -
- 60335-2-20 -
- 60335-2-21 Storage water heaters
- 60335-2-22 -
- 60335-2-23 Appliances for skin or hair care
- 60335-2-24 Refrigerating appliances, ice-cream appliances and ice makers
- 60335-2-25 Microwave ovens, including combination microwave ovens
- 60335-2-26 Clocks
- 60335-2-27 Appliances for skin exposure to ultraviolet and infrared radiation.
- 60335-2-28 Sewing machines
- 60335-2-29 Battery chargers
- 60335-2-30 Room heaters
- 60335-2-31 Range hoods and other cooking fume extractors
- 60335-2-32 Massage appliances
- 60335-2-33 -
- 60335-2-34 Motor-compressors
- 60335-2-35 Instantaneous water heaters
- 60335-2-36 Commercial electric cooking ranges, ovens, hobs and hob elements
- 60335-2-37 Commercial electric deep fat fryers
- 60335-2-38 Commercial electric griddles and griddle grills
- 60335-2-39 Commercial electric multi-purpose cooking pans
- 60335-2-40 Electrical heat pumps, air-conditioners and dehumidifiers
- 60335-2-41 Pumps
- 60335-2-42 Commercial electric forced convection ovens, steam cookers and steam-convection ovens
- 60335-2-43 Clothes dryers and towel rails
- 60335-2-44 Ironers
- 60335-2-45 Portable heating tools and similar appliances

60335-2-46 -
 60335-2-47 Commercial electric boiling pans
 60335-2-48 Commercial electric grillers and toasters
 60335-2-49 Commercial electric appliances for keeping food and crockery warm
 60335-2-50 Commercial electric bains-marie
 60335-2-51 Stationary circulation pumps for heating and service water installations
 60335-2-52 Oral hygiene appliances
 60335-2-53 Sauna heating appliances and infrared cabins
 60335-2-54 Surface-cleaning appliances for household use employing liquids or steam
 60335-2-55 Electrical appliances for use with aquariums and garden ponds
 60335-2-56 Projectors and similar appliances
 60335-2-57 -
 60335-2-58 Commercial electric dishwashing machines
 60335-2-59 Insect killers
 60335-2-60 Whirlpool baths and whirlpool spas
 60335-2-61 Thermal-storage room heaters
 60335-2-62 Commercial electric rinsing sinks
 60335-2-63 Commercial electric water boilers and liquid heaters (*replaced by 60335-2-75*)
 60335-2-64 Commercial electric kitchen machines
 60335-2-65 Air-cleaning appliances
 60335-2-66 Water-bed heaters
 60335-2-67 Floor treatment machines for commercial use
 60335-2-68 Spray extraction machines for commercial use
 60335-2-69 Wet and dry vacuum cleaners, including power brush, for commercial use
 60335-2-70 Milking machines
 60335-2-71 Electrical heating appliances for breeding and rearing animals
 60335-2-72 Automatic machines for floor treatment for commercial and industrial use
 60335-2-73 Fixed immersion heaters
 60335-2-74 Portable immersion heaters
 60335-2-75 Commercial dispensing appliances and vending machines
 60335-2-76 Electric fence energizers (*excluded from LVD*)
 60335-2-77 Pedestrian-controlled walk-behind electrically powered lawn mowers
 60335-2-78 Outdoor barbecues
 60335-2-79 High-pressure cleaners and steam cleaners
 60335-2-80 Fans
 60335-2-81 Footwarmers and heating mats
 60335-2-82 Amusement machines and personal service machines
 60335-2-83 Heated gullies for roof drainage
 60335-2-84 Toilets
 60335-2-85 Fabric steamers
 60335-2-86 Electric fishing machines
 60335-2-87 Electrical animal-stunning equipment
 60335-2-88 Humidifiers intended for use with heating, ventilation, or air-conditioning systems

- 60335-2-89 Commercial refrigerating appliances with an incorporated or remote refrigerant condensing unit or compressor
- 60335-2-90 Commercial microwave ovens
- 60335-2-91 Walk-behind and handheld lawn trimmers and lawn edge trimmers
- 60335-2-92 Pedestrian-controlled mains-operated lawn scarifiers and aerators
- 60335-2-93 -
- 60335-2-94 Scissor type grass shears
- 60335-2-95 Drives for vertically moving garage doors for residential use
- 60335-2-96 Flexible sheet heating elements for room heating
- 60335-2-97 Drives for rolling shutters, awnings, blinds and similar equipment
- 60335-2-98 Humidifiers
- 60335-2-99 Commercial electric hoods
- 60335-2-100 Hand-held mains-operated garden blowers, vacuums and blower vacuums
- 60335-2-101 Vaporizers
- 60335-2-102 Gas, oil and solid-fuel burning appliances having electrical connections
- 60335-2-103 Drives for gates, doors and windows
- 60335-2-104 Recover and/or recycle refrigerant from air conditioning and refrigeration
- 60335-2-105 Multifunctional shower cabinets
- 60335-2-106 Heated carpets and for heating units for room heating installed under removable floor coverings
- 60335-2-107 -
- 60335-2-108 Electrolysers
- 60335-2-109 UV radiation water treatment appliances
- 60335-2-110 Commercial microwave appliances with insertion or contacting applicators
- 60335-2-111 Electric ondol mattress with a non-flexible heated part
- 60335-2-112 -
- 60335-2-113 Cosmetic and beauty care appliances incorporating lasers and intense light sources
- 60335-2-114 Self-balancing personal transport devices for use with batteries containing alkaline or other non-acid electrolytes (*in IEC-version only, not EN*)
- 60335-2-115 -
- 60335-2-116 Furniture with electrically motorized parts (*currently under draft*)

A.3.3 Test Level

Table A-1: Summary of voltage levels for electric strength testing as per EN 60335-1 [20] (one minute application).

Insulation	Test voltage V			
	Rated voltage ^a			Working voltage (U)
	SELV	≤150 V	>150 V and ≤250 V ^b	>250 V
Basic insulation	500	1 000	1 000	1,2 U + 700
Supplementary insulation		1 250	1 750	1,2 U + 1 450
Reinforced insulation		2 500	3 000	2,4 U + 2 400

^a For multi-phase appliances, the line to neutral or line to earth voltage is used for **rated voltage**. The test voltage for 480 V multi-phase appliances is that specified for a **rated voltage** in the range > 150 V and ≤ 250 V.

^b For appliances having a **rated voltage** ≤ 150 V, these test voltages apply to parts having a **working voltage** > 150 V ≤ 250 V.

From Table A-1 it can be seen that the voltage level for electric strength testing, as per EN 60335-1 [20] (one minute application), for basic insulation is 1 000V.

A.4 EN 62684

EN 62684 [15] defines interoperability specifications of common external power supply (EPS) for use with data-enabled mobile telephones that are classified in the following categories:

- 33.070.50 Global System for Mobile Communication (GSM)
- 35.100.05 Multilayer applications
- 35.200 Interface and interconnection equipment
- 29.200 Rectifiers. Converters. Stabilized power supply

The document specifies the interoperability of common external power supplies for use with data-enabled mobile telephones, defines the common charging capability and specifies interface requirements for the external power supply.

Safety and EMC aspects are not covered by this document. Safety is covered by IEC 60950-1 or IEC 62368-1 and EMC is covered by regional /national standards.

IEC 62368-1, specifically refers to IEC 60364-4-44 through its Annex I (informative) Overvoltage categories (see IEC 60364-4-44).

A.5 EN 61439-1

EN 61439-1 [14] covers Low-Voltage Switchgear and Control Gear Assemblies - Part 1: General Rules, 2011. Table A-2 shows the AC withstand (dielectric) test voltage in accordance to EN 61439-1 to be 1500 V.

Table A-2: AC Withstand (Dielectric) Test Voltage in accordance to EN 61439-1.

Rated insulation voltage U_i line to line a.c. or dc. V	Dielectric test voltage a.c. r.m.s. value V	Dielectric test voltage ^{b)} d.c. V
$U_i \leq 60$	1 000	1 415
$60 < U_i \leq 300$	1 500	2 120
$300 < U_i \leq 690$	1 890	2 670
$690 < U_i \leq 800$	2 000	2 830
$800 < U_i \leq 1\,000$	2 200	3 110
$1\,000 < U_i \leq 1\,500$ ^{a)}	-	3 820

^{a)} For d.c. only
^{b)} Test voltages based on 4.1.2.3.1, third paragraph, of the IEC 60664-1.

A.6 EN 62368-1

EN 62368-1 [17], covers Audio / Video, Information and Communication Technology Equipment - Part 1: Safety Requirements. It is noted from [21] that:

“Using the Overvoltage Category along with the line voltage, engineers can determine the voltage withstand rating. Power adapters connecting to 120-V outlets have a withstand voltage rating of 1500 V. For adapters connecting to 240-V outlets, the withstand voltage rating increases to 2500 V” [21].

A.7 EN 60364-4-44

EN 60364-4-44 [18] covers Low-voltage electrical installations – Protection for safety – Protection against voltage disturbances and electromagnetic disturbances. From [18] and with reference to Figure A-1, the following is noted:

Magnitude and duration of power-frequency fault voltage [18]

- The magnitude and the duration of the fault voltage U_f (as calculated in Table 44.A1 (Table A-3)) which appears in the LV installation between exposed-conductive-parts and earth, shall not exceed the values given for U_f by the curve of Figure 44.A2 (Figure A-2) for the duration of the fault.

Magnitude and duration of power-frequency stress voltages

- The magnitude and the duration of the power-frequency stress voltage (U_1 and U_2) as calculated in Table 44.A1 of the low-voltage equipment in the low-voltage installation due to an earth fault in the high-voltage system shall not exceed the requirements given in Table 44.A2.

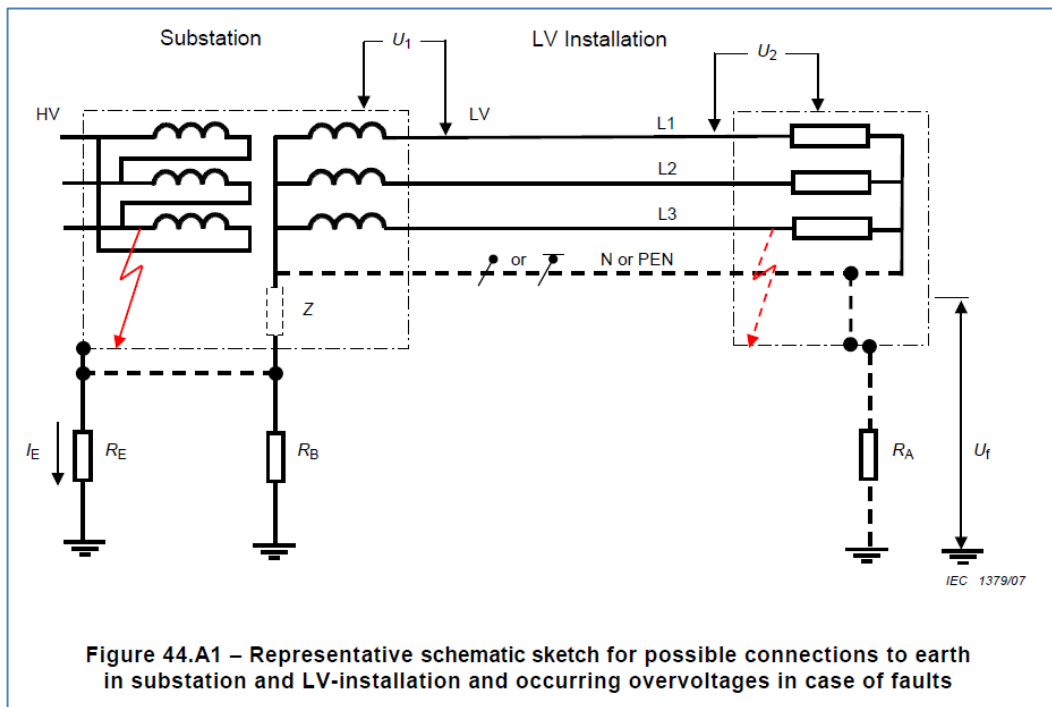


Figure A-1: Schematic illustration of possible connections to earth.

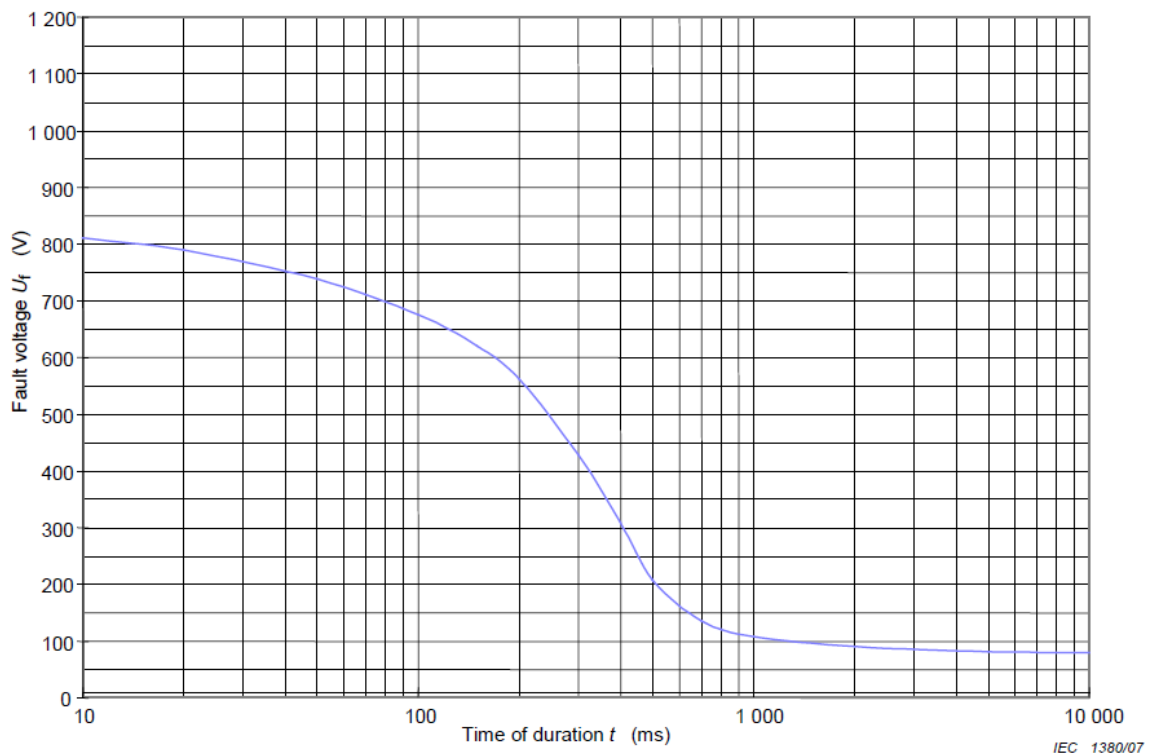


Figure A-2: Safety curve for fault voltage U_f versus fault clearing time, t .

From Figure A-2, raising the fault voltage to 800 V requires a fault clearing time of less than 20 ms.

Table A-3: Permissible Power Frequency Stress Voltage.**Table 44.A2 – Permissible power-frequency stress voltage**

Duration of the earth fault in the high-voltage system	Permissible power-frequency stress voltage on equipment in low-voltage installations
t	U
>5 s	$U_o + 250 \text{ V}$
$\leq 5 \text{ s}$	$U_o + 1\,200 \text{ V}$
In systems without a neutral conductor, U_o shall be the line-to-line voltage.	
NOTE 1 The first line of the table relates to high-voltage systems having long disconnection times, for example, isolated neutral and resonant earthed high-voltage systems. The second line relates to high-voltage systems having short disconnection times, for example low-impedance earthed high-voltage systems. Both lines together are relevant design criteria for insulation of low-voltage equipment with regard to temporary power frequency overvoltage, see IEC 60664-1.	
NOTE 2 In a system whose neutral is connected to the earthing arrangement of the transformer substation, such temporary power-frequency overvoltage is also to be expected across insulation which is not in an earthed enclosure when the equipment is outside a building.	

From Table A-3, assuming $U_o = 240 \text{ V}$ (single phase to earth), then the permissible power frequency stress voltage on equipment in low voltage installations is 1440 V.

APPENDIX B – EXAMPLE OF SENSITIVE EQUIPMENT ON THE LV SYSTEM

B.1 Example Device Selected

As an example of a sensitive piece of electronic equipment, to be used in the context of this discussion, the example of an external power supply / charger for a mobile phone was randomly selected.

It is noted that: The **external power supply** of mobile phones does not fall under the scope of the Radio Equipment Directive (unless it works wirelessly), but under the 2014 Low Voltage Directive, which covers health and safety risks of electrical equipment operating with an input or output voltage between 50 and 1000 volts (V) for alternating current, and between 75 and 1500 V for direct current [12].

B.2 Specific Mobile Phone Charger Selected

Figure B-1 shows the example phone charger selected for the discussion.



Figure B-1: Example phone charger selected for the discussion: 4SMARTS Wall Charger.

From Figure B-1 it can be seen that the device carries the CE mark indicating its compliance with the EMC Directive. The Compliance Certificate is presented in the next section.

B.3 EU Compliance Certificate

The EU Declaration of Conformity Certificate of the 4SMARTS Wall Charger is presented below. From a safety and an electromagnetic compatibility perspective, it is noted that the 4Smarts Wall Charger complies with the following standards:

Safety: EN 62368-1 [17];

EMC: EN 55032 (CISPR 32)
 EN 55035 (CISPR 35)
 EN 61000-3-2
 EN 61000-3-3

EU DECLARATION OF CONFORMITY

(In accordance with EN ISO/IEC 17050-1)

Declaration number:	DOCIP 1062305	4smarts
Name and address of manufacturer / EU-AR:	4smarts GmbH Postfach 102306 86013 Augsburg Germany	
THIS DECLARATION OF CONFORMITY IS ISSUED UNDER THE SOLE RESPONSIBILITY OF:		
Name and address of manufacturer:	4smarts GmbH Postfach 102306 86013 Augsburg Germany	
Product identification:	4smarts Wall Charger VoltPlug PD 20W white 4S465575 See appendix A for a list of all products covered by this declaration	
THE PRODUCTS MENTIONED IN THIS DECLARATION ARE IN CONFORMITY WITH:		
EU Community Legislation	Restriction of Hazardous Substances (RoHS) Directive 2011/65/EU Electromagnetic Compatibility (EMC) Directive 2014/30/EU [OJEU L96/79-106, 29.03.2014] Ecodesign energy-related products Directive 2009/125/EC [OJEU L285/10-35, 31.10.2009] Low Voltage Directive (LVD) 2014/35/EU [OJEU L96/357-374, 29.03.2014]	
Standards	Safety of electrical equipment EN 62368-1:2014 + A11:2017 Electromagnetic Compatibility (EMC) EN 55032:2015 EN 55035:2017 EN 61000-3-2:2014 EN 61000-3-3:2013 Restricted substances in electrical products EN IEC 63000:2018 Ecodesign, Energy performance Regulation (EC) 278/2009 - Ecodesign of external power supplies (EPS) EN 50563:2011 + A1:2013	
Other specifications:		
Notified Body:		
Additional information:		
SIGNED FOR AND ON BEHALF OF:		
Place and date of issue:	Augsburg, 16 October 2020	
Signature:		
Name, function:	S. Rouhany / CEO	
Company name:	4smarts GmbH	

EU DECLARATION OF CONFORMITY

(In accordance with EN ISO/IEC 17050-1)

Appendix A – list of products

The following products are covered by EU declaration of conformity DOCIP 1062305

45465575	Wall Charger VoltPlug PD 20W white
465591	Wall Charger VoltPlug PD 20W with C2L Cable 1.5m white
465585	Wall Charger VoltPlug PD 20W with C2C Cable 1.5m white

B.4 The Safety and EMC Standards Applicable

12.4.1 Safety

The safety standard EN 62368-1 [17] has been addressed earlier in this document.

12.4.2 The EMC Standards

EN 55032 (CISPR 32)

EN 55032 [23] is an emission standard and defines specific tests that are designed to identify electromagnetic emissions propagating / emanating from the equipment and that such emissions are within an acceptable electromagnetic range. For this reason, the equipment is not considered a source of interference. Two types of emissions are considered:

- Radiated Emission and
- Conducted Emission.

EN 55032 covers two classes of equipment:

- Class A – all equipment (including commercial and industrial products) must comply with Class A limits;
- Class B – any equipment which is mainly used in a residential environment;

Class B limits are more stringent than Class A limits and are designed for equipment that is intended to be used in the vicinity of others and are therefore more challenging to meet.

It is noted that IEC CISPR 32 makes reference to the EMC standard:

- IEC 61000-4-6:2008 Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-6: Testing and measurement techniques – Immunity to conducted disturbances, induced by radio-frequency fields

EN 55035 (CISPR 35)

EN 55035 [24] is an immunity standard and defines specific tests that are designed to enable manufacturers to demonstrate that their equipment is designed to withstand interference presented to it either:

- As Radiated Immunity / Susceptibility or
- As Conducted Immunity.

It is noted that IEC CISPR 35 makes reference to the following EMC standards:

- IEC 61000-4-2:2008, Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-2: Testing and measurement techniques – Electrostatic discharge immunity test;
- IEC 61000-4-3:2006, Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-3: Testing and measurement techniques – Radiated, radio-frequency, electromagnetic field immunity test;
- IEC 61000-4-3:2006/AMD 1:2007 IEC 61000-4-3:2006/AMD 2:2010 IEC 61000-4-4:2012, Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-4: Testing and measurement techniques – Electrical fast transient/burst immunity test;
- IEC 61000-4-5:2005, Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-5: Testing and measurement techniques – Surge immunity test;
- IEC 61000-4-6:2008, Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-6: Testing and measurement techniques – Immunity to conducted disturbances, induced by radio-frequency fields;
- IEC 61000-4-8:2009, Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-8: Testing and measurement techniques – Power frequency magnetic field immunity test;
- IEC 61000-4-11:2004, Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-11: Testing and measurement techniques – Voltage dips, short interruptions and voltage variations immunity tests;
- IEC 61000-4-20: 2010, Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-20: Testing and measurement techniques – Emission and immunity testing in transverse electromagnetic (TEM) waveguides;
- IEC 61000-4-21:2011, Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-21: Testing and measurement techniques – Reverberation chamber test methods

EN 61000-3-2

EN 61000-3-2 [25] covers Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 3-2: Limits – Limits for harmonic current emissions (equipment input current ≤ 16 A per phase).

EN 61000-3-3

EN 61000-3-3 [26] covers Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 3-3: Limits - Limitation of voltage changes, voltage fluctuations and flicker in public low-voltage supply systems, for equipment with rated current ≤ 16 A per phase and not subject to conditional connection.

B.5 Criterion Selected for Discussion

Despite the fact that the safety standard EN 62368-1 [17] makes reference to 2500 V (see Table 5) as a safe voltage level for equipment, for the purposes of this discussion, the level of 1000 V was conservatively assumed.

APPENDIX C – SIMPLE NUMERICAL MODEL

C.1 Background to Model

Figure C-1 presents the circuit diagram and illustration of the high voltage power line tower with power frequency fault at the tower. The MV / LV transformer is located at a distance X from the HV power line tower and the Distribution Panel inside the residence, as well as the focus area for touch potentials, located at a distance Y from the HV power line tower.

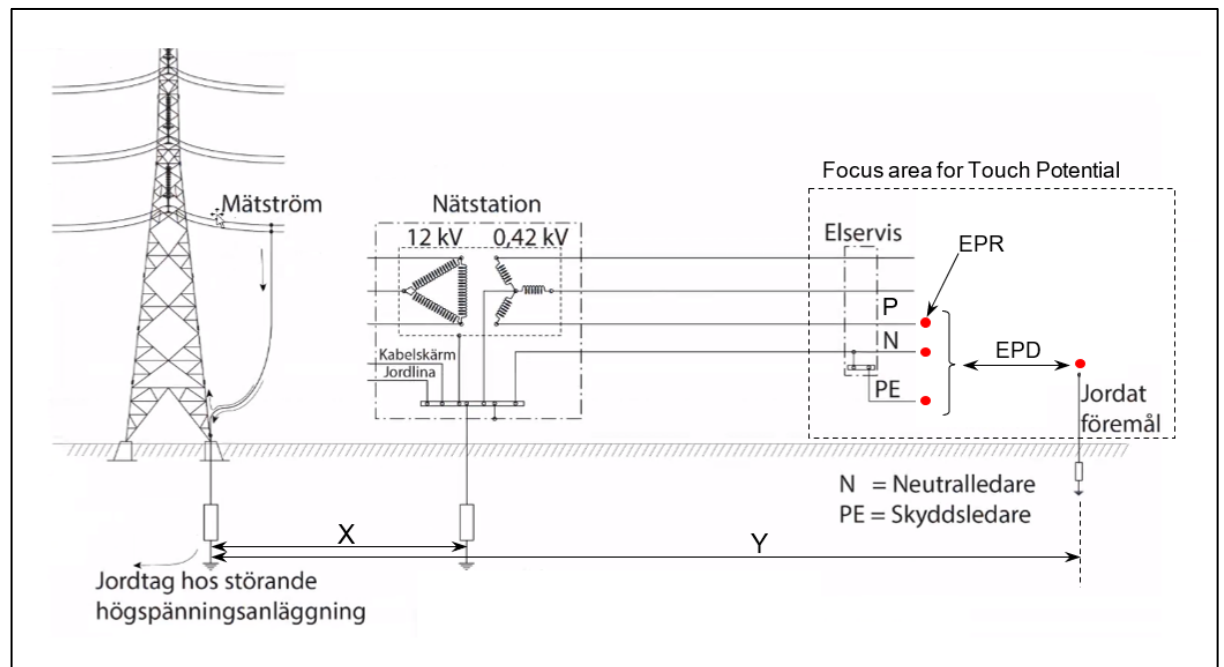


Figure C-1: Circuit diagram and illustration of the high voltage power line tower with power frequency fault at the tower. The MV / LV transformer is located at a distance X from the HV power line tower and the Distribution Panel inside the residence, as well as the focus area for touch potentials, located at a distance Y from the HV power line tower (Main image: Courtesy Alija Cosic (Svenska Kraftnät)).

Table C-1 offers a description of the 6 x cases considered with reference to Figure 9.

Table C-1: Summary of the 6 x cases considered with reference to Figure 9.

Case No	Description
1	Earthed at Residence (Y = 10 m); Earthed at MV/LV Transformer (X = 10 m)
2	Earthed at Residence (Y = 10 m); Earthed at MV/LV Transformer (X = 50 m)
3	Earthed at Residence (Y = 10 m); Earthed at MV/LV Transformer (X = 100 m)
4	Not Earthed at Residence (Y = 10 m); Earthed at MV/LV Transformer (X = 10 m)
5	Not Earthed at Residence (Y = 10 m); Earthed at MV/LV Transformer (X = 50 m)
6	Not Earthed at Residence (Y = 10 m); Earthed at MV/LV Transformer (X = 100 m)

C.2 Specific Note About the Model

It is specifically noted that the numerical model incorporated the following:

- A fault current of 1 kA was injected at the fault point (A in Figure 9) into the soil;
- A homogenous soil with 100 Ω .m was used in the assessment.

The findings should be viewed against these parameters as they do not present worst case situations and will depend on the soil resistivity at the site as well as the fault current passed onto the soil at the tower.

C.3 Case 1 - Earthed at Residence (Y = 10 m); Earthed at MV/LV Transformer (X = 10 m)

Figure C-2 shows the outlay in the numerical model. Figure C-3 to C-5 Shows respectively the touch potential at the distribution board area without a safety threshold, with 220 V threshold and with 800 V threshold.

Note: The colour white is safe.

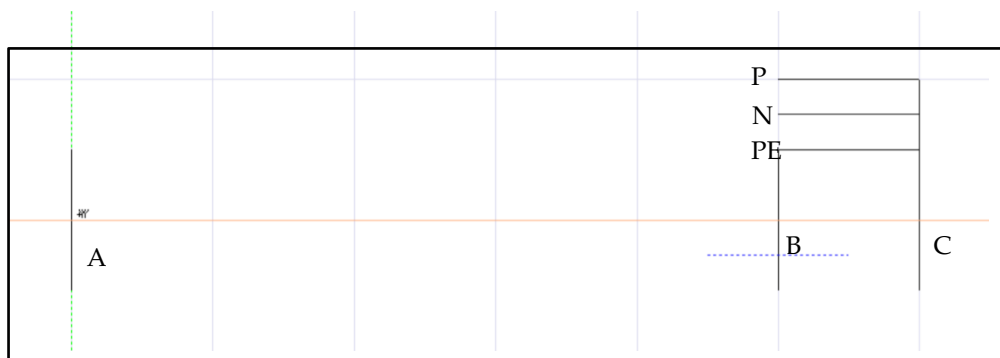


Figure C-2: Outlay in the numerical model (Referenced to Figure 9).

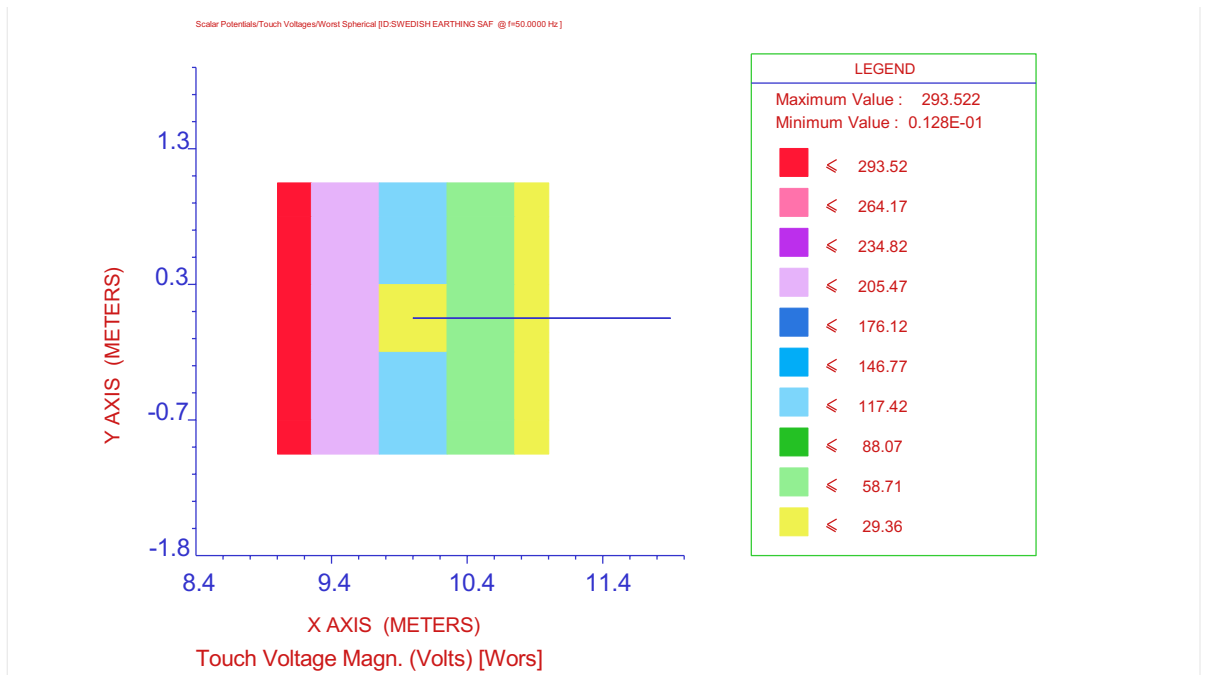


Figure C-3: Touch potential at the distribution board area without a safety threshold.

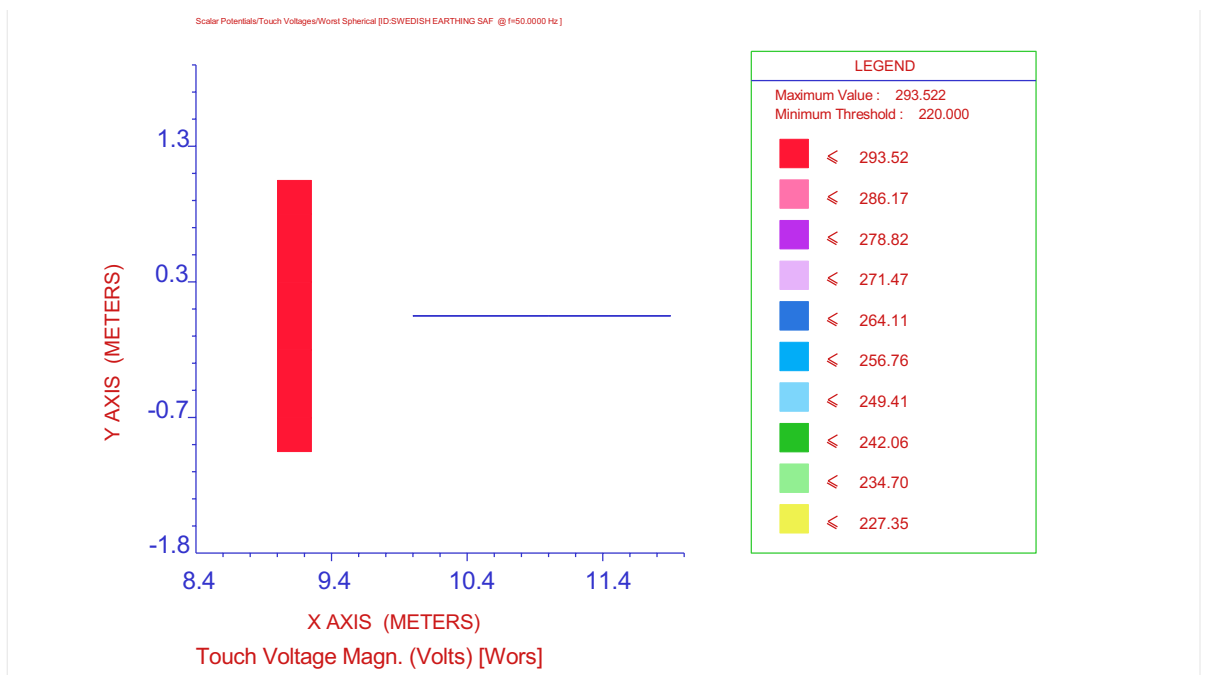


Figure C-4: Touch potential at the distribution board area with 220 V as safety threshold.

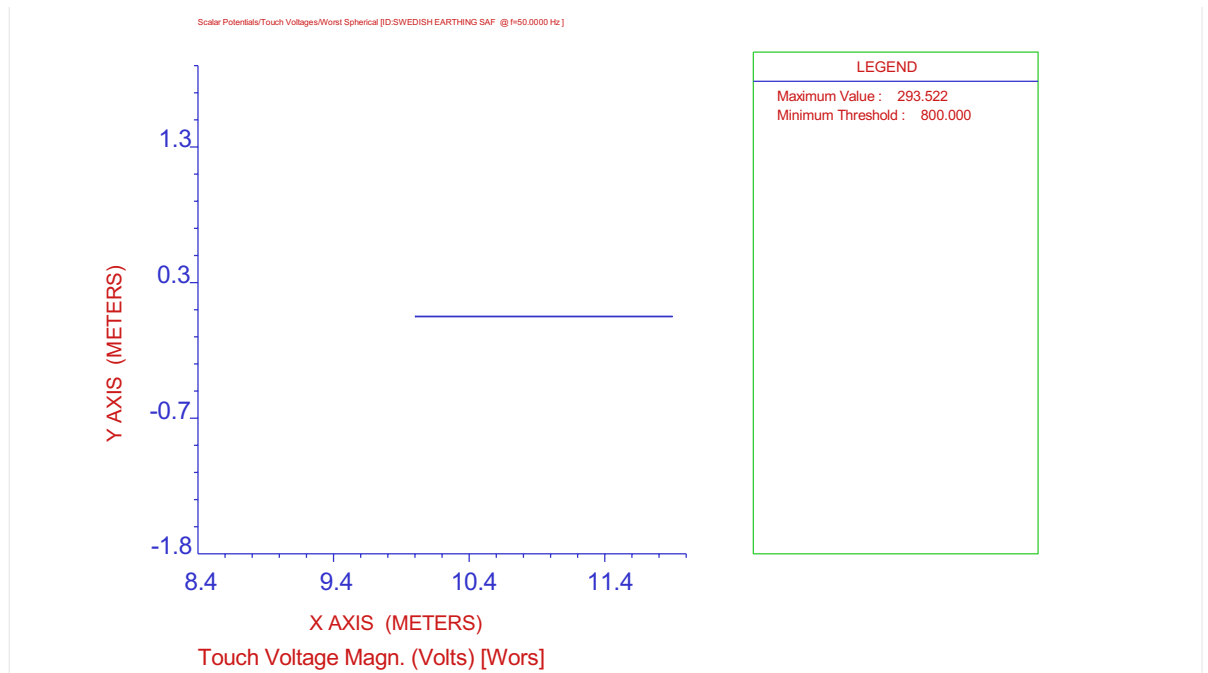


Figure C-5: Touch potential at the distribution board area with 800 V as safety threshold.

C.4 Case 2 - Earthed at Residence (Y = 10 m); Earthed at MV/LV Transformer (X = 50 m)

Figure C-6 shows the outlay in the numerical model. Figure C-7 to C-9 Shows respectively the touch potential at the distribution board area without a safety threshold, with 220 V threshold and with 800 V threshold.

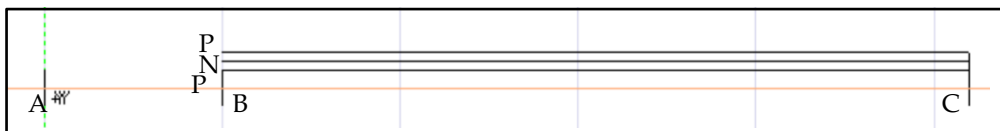


Figure C-6: Outlay in the numerical model (Referenced to Figure 9).

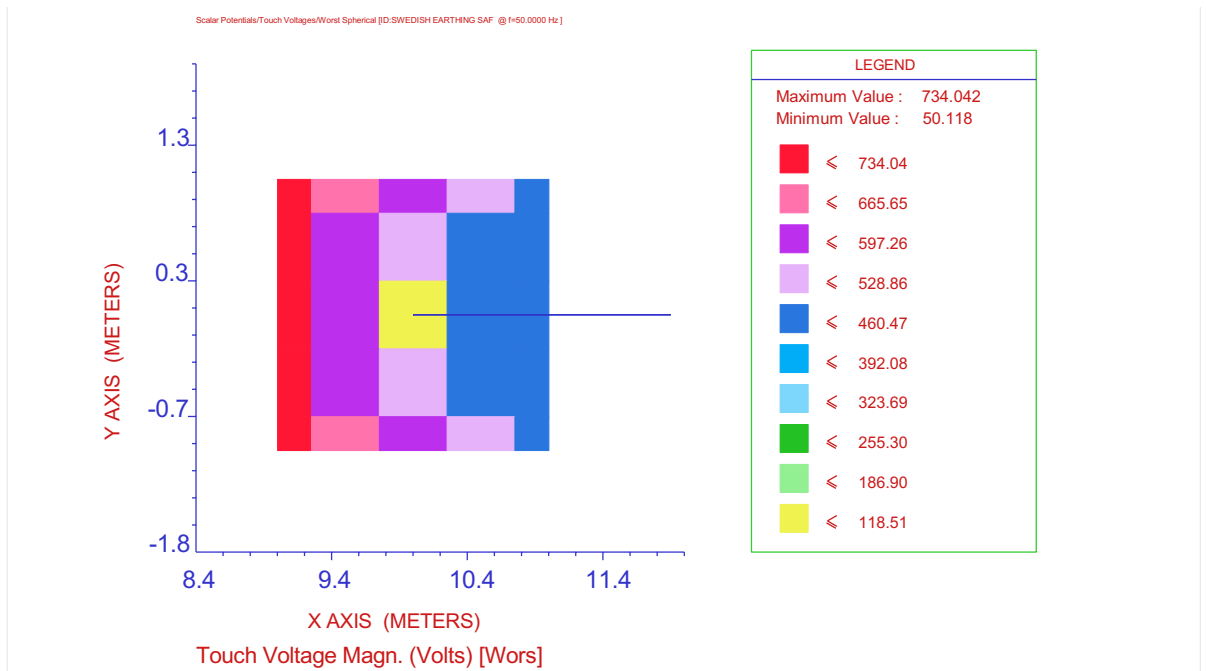


Figure C-7: Touch potential at the distribution board area without a safety threshold.

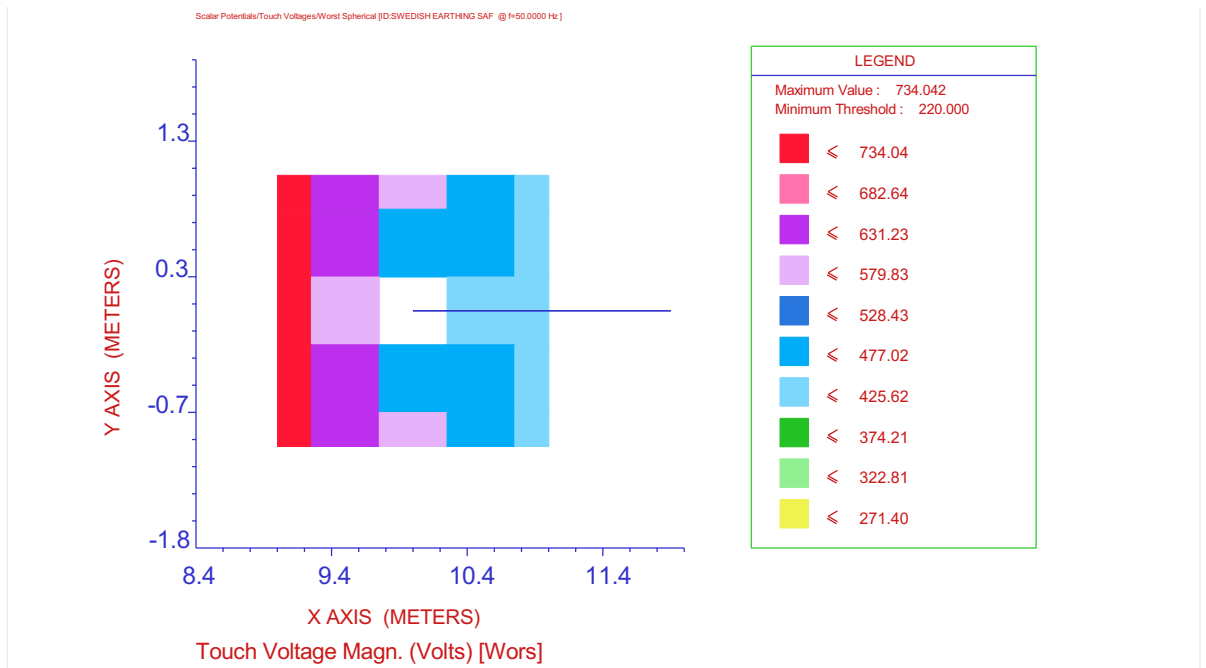


Figure C-8: Touch potential at the distribution board area with 220 V as safety threshold.

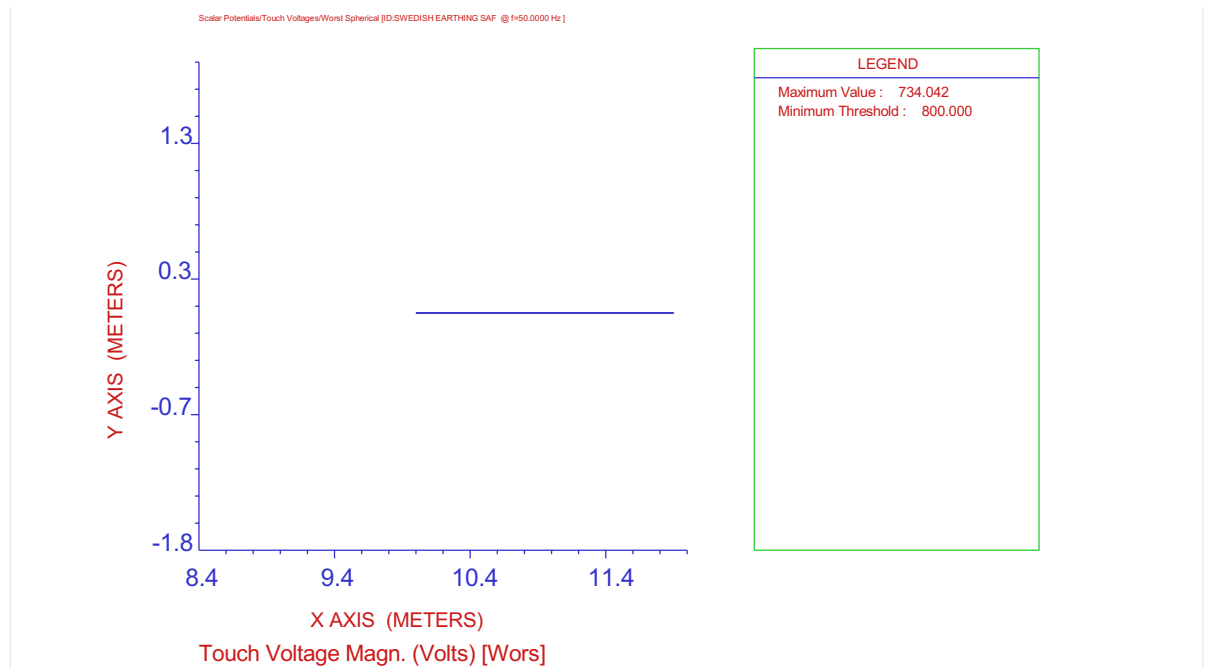


Figure C-9: Touch potential at the distribution board area with 800 V as safety threshold.

C.5 Case 3 - Earthed at Residence (Y = 10 m); Earthed at MV/LV Transformer (X = 100 m)

Figure C-10 shows the outlay in the numerical model. Figure C-11 to C-13 Shows respectively the touch potential at the distribution board area without a safety threshold, with 220 V threshold and with 800 V threshold.

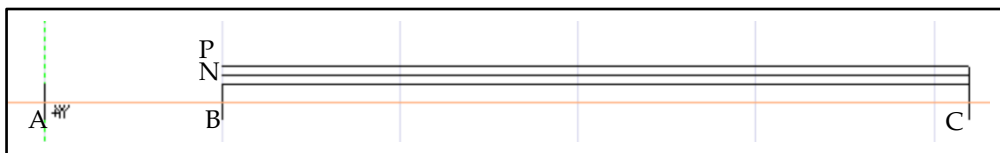


Figure C-10: Outlay in the numerical model (Referenced to Figure 9).

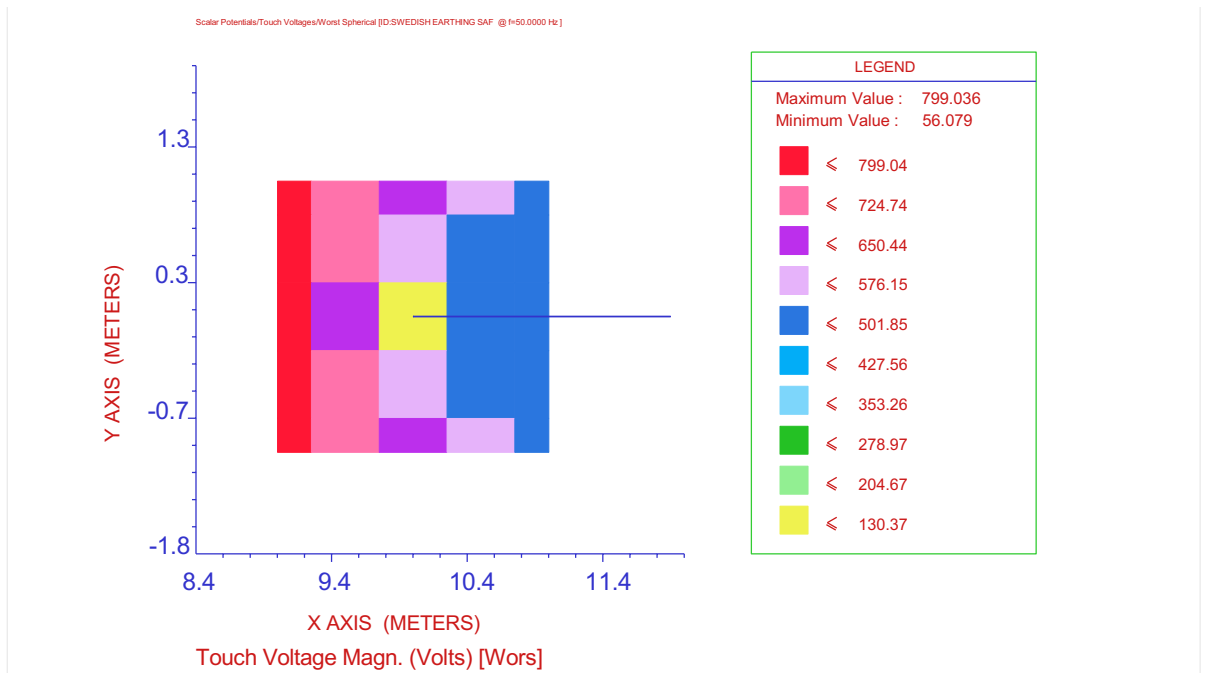


Figure C-11: Touch potential at the distribution board area without a safety threshold.

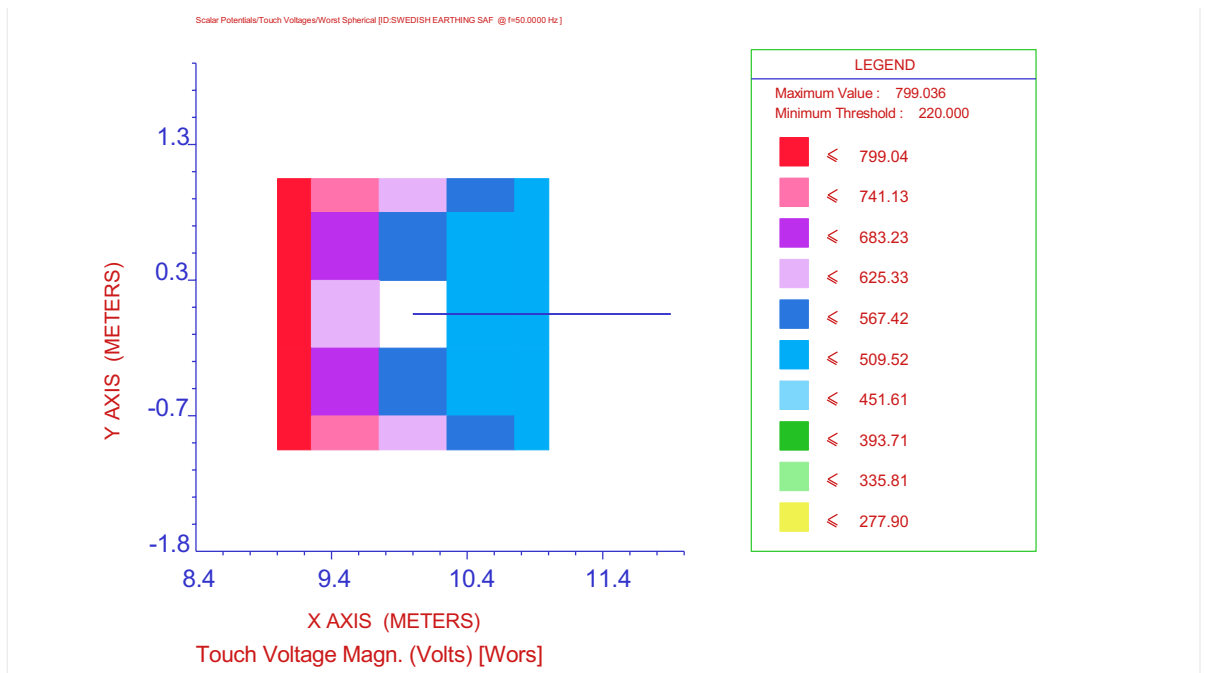


Figure C-12: Touch potential at the distribution board area with 220 V as safety threshold.

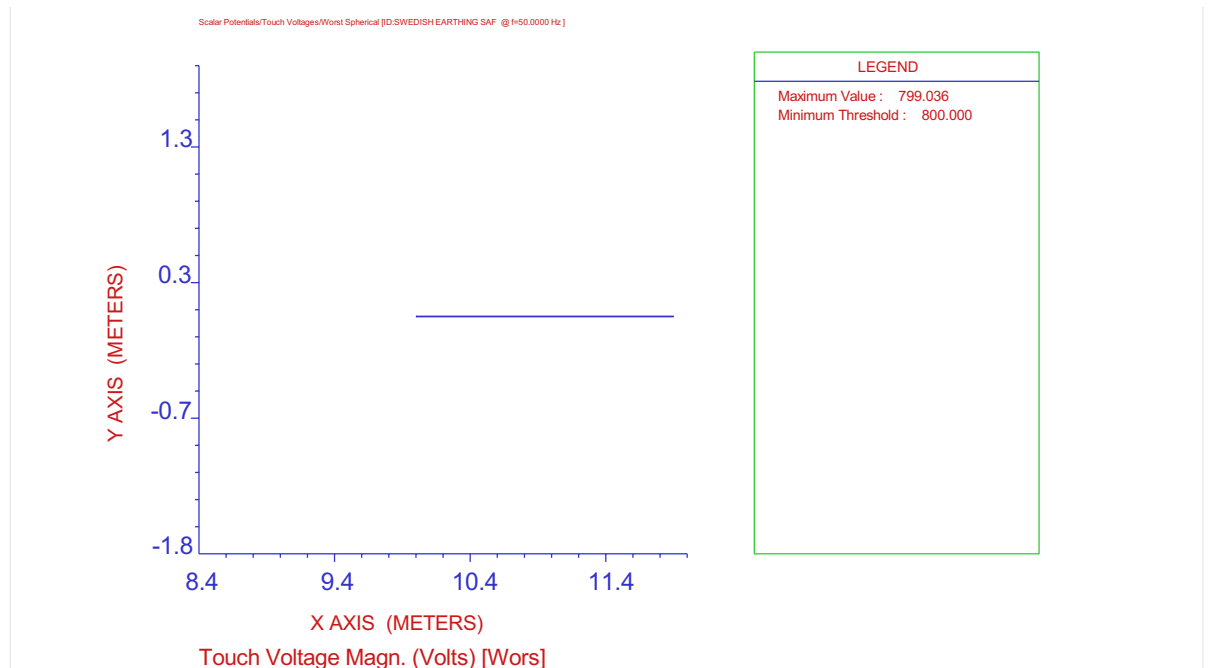


Figure C-13: Touch potential at the distribution board area with 800 V as safety threshold.

C.6 Case 4 - Not Earthed at Residence (Y = 10 m); Earthed at MV/LV Transformer (X = 10 m)

Figure C-14 shows the outlay in the numerical model. Figure C-15 to C-17 Shows respectively the touch potential at the distribution board area without a safety threshold, with 220 V threshold and with 800 V threshold.



Figure C-14: Outlay in the numerical model (Referenced to Figure 9).

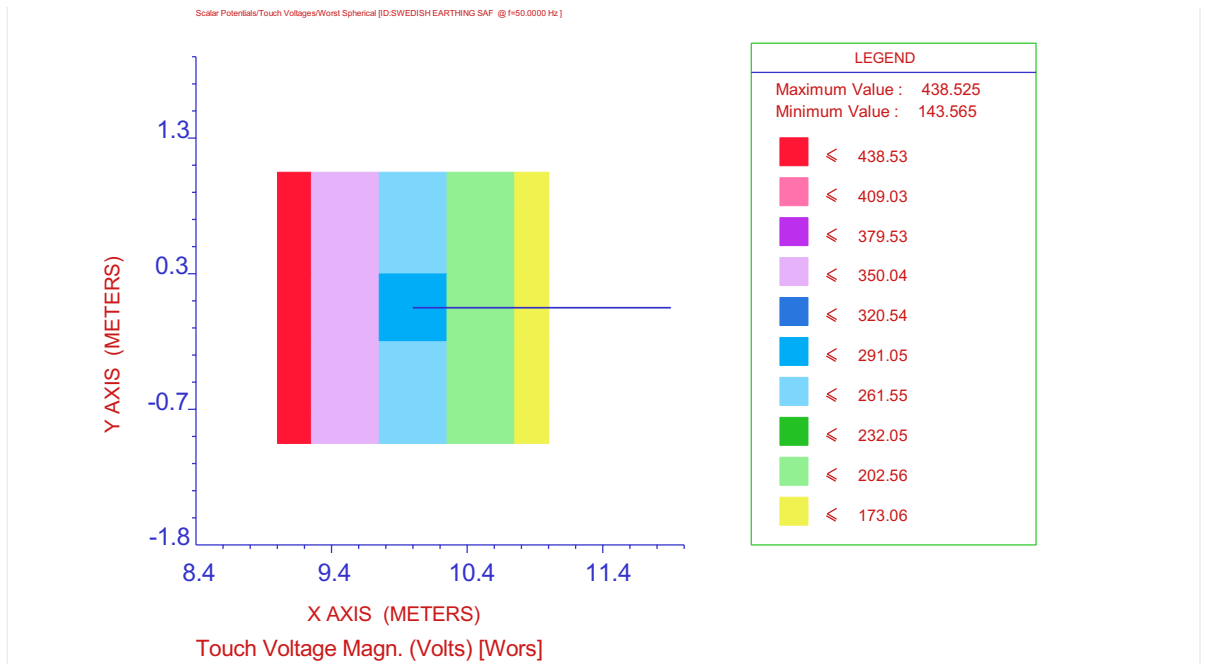


Figure C-15: Touch potential at the distribution board area without a safety threshold.

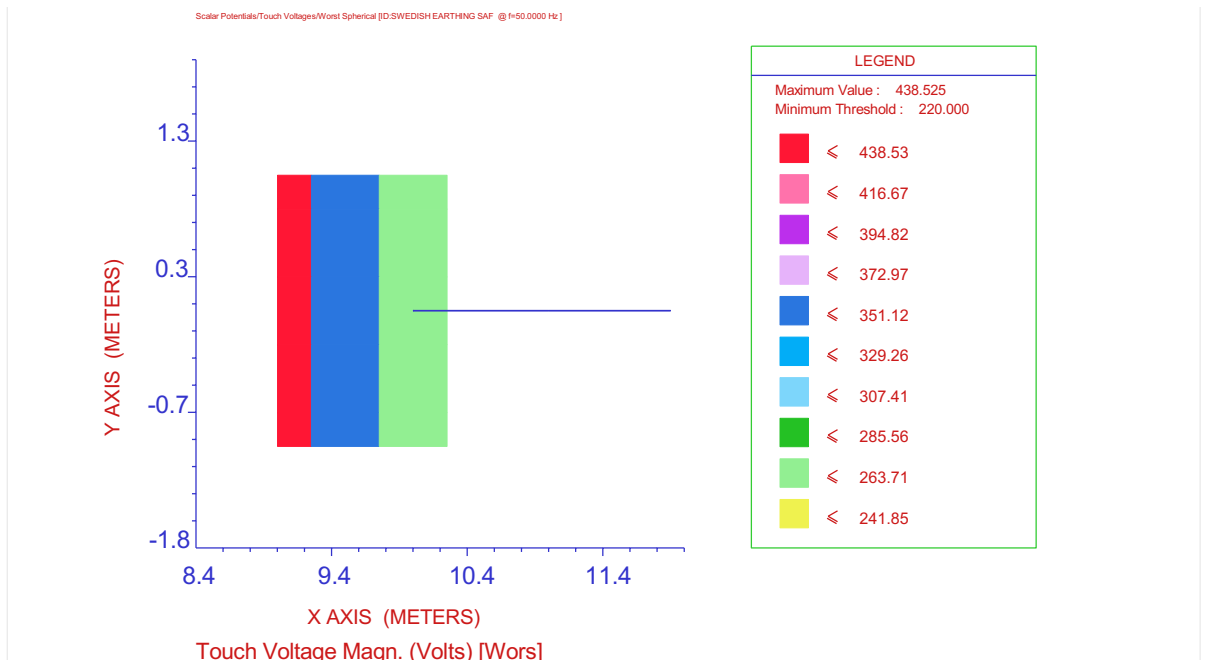


Figure C-16: Touch potential at the distribution board area with 220 V as safety threshold.

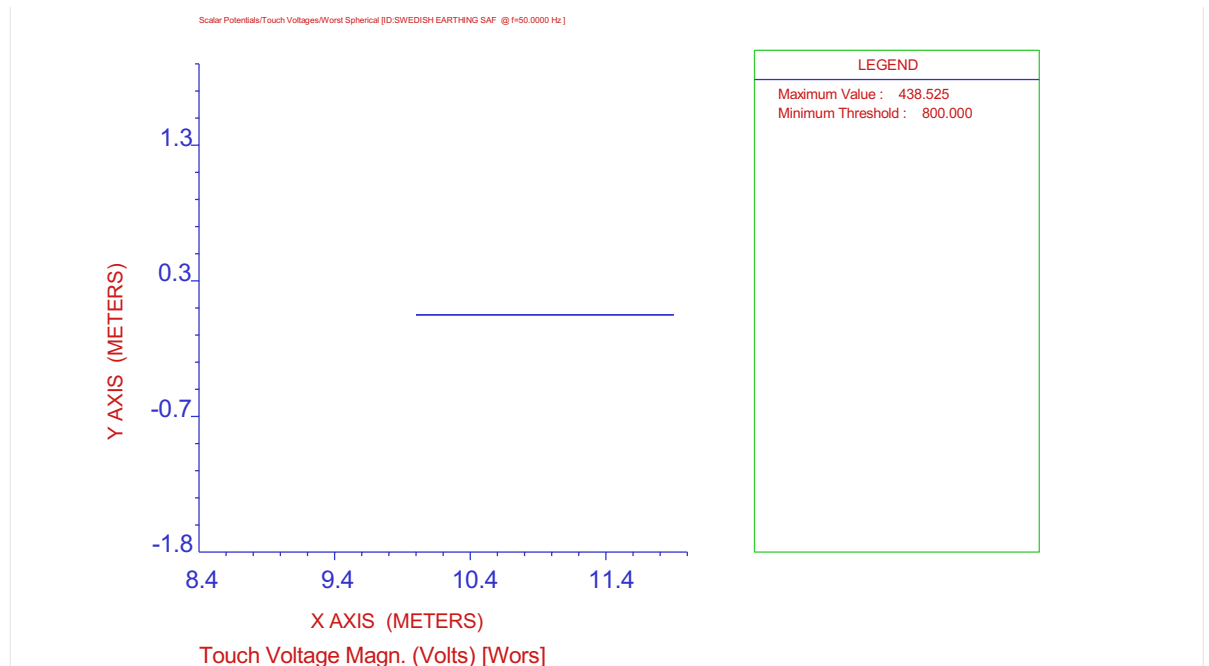


Figure C-17: Touch potential at the distribution board area with 800 V as safety threshold.

C.7 Case 5 - Not Earthed at Residence (Y = 10 m); Earthed at MV/LV Transformer (X = 50 m)

Figure C-18 shows the outlay in the numerical model. Figure C-19 to C-21 Shows respectively the touch potential at the distribution board area without a safety threshold, with 220 V threshold and with 800 V threshold.

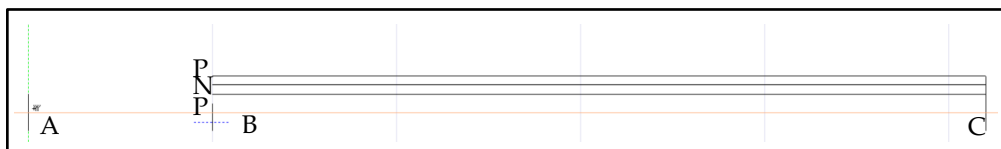


Figure C-18: Outlay in the numerical model (Referenced to Figure 9).

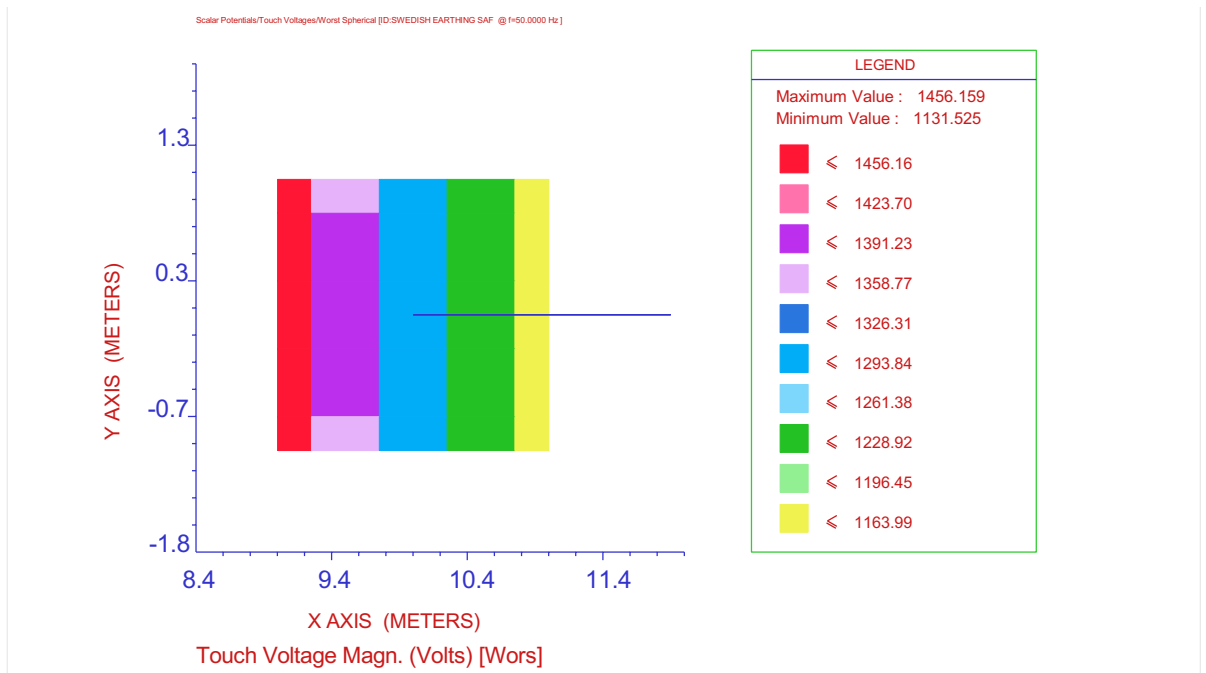


Figure C-19: Touch potential at the distribution board area without a safety threshold.

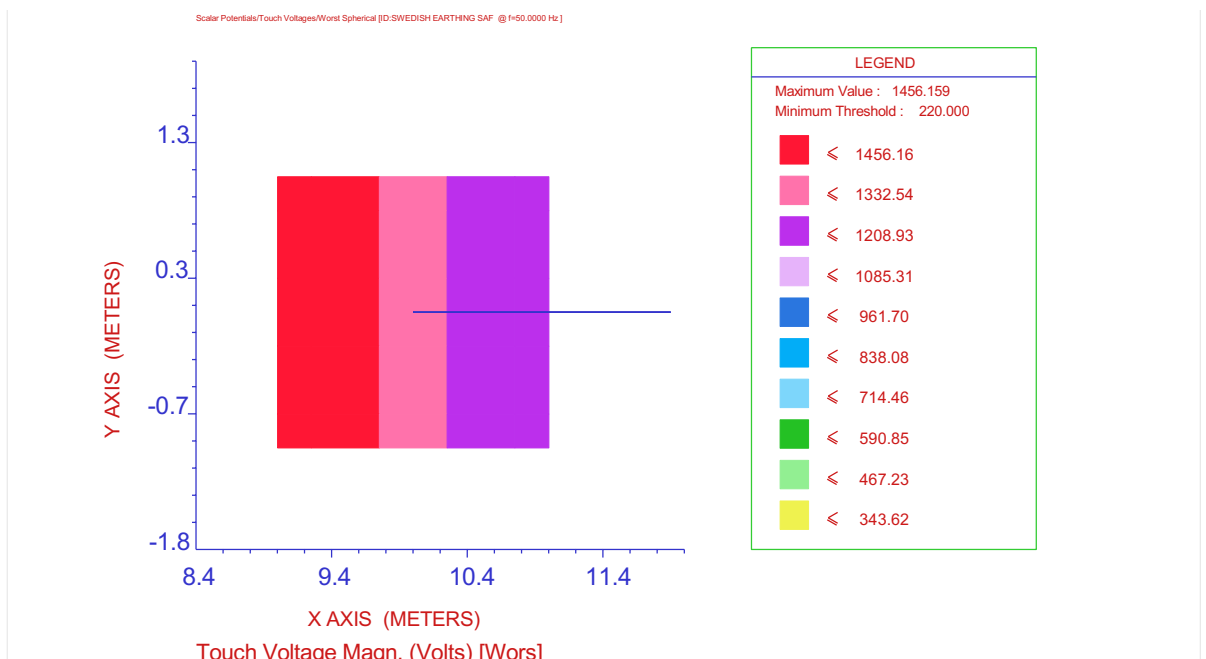


Figure C-20: Touch potential at the distribution board area with 220 V as safety threshold.

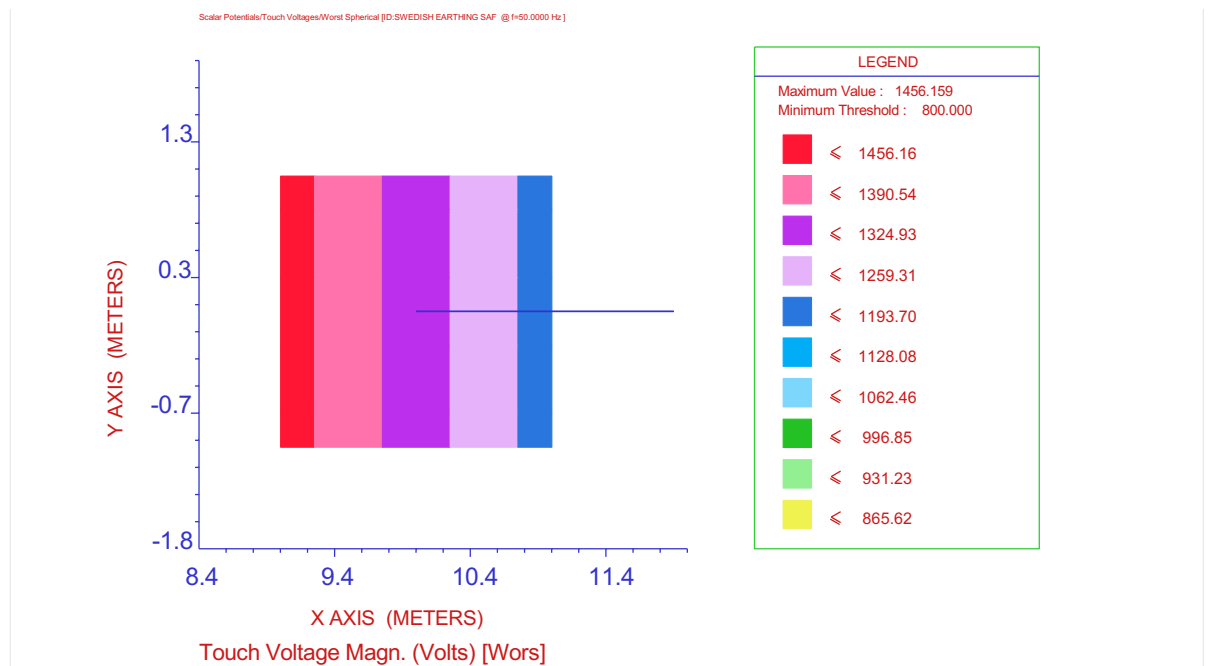


Figure C-21: Touch potential at the distribution board area with 800 V as safety threshold.

C.8 Case 6 - Not Earthed at Residence (Y = 10 m); Earthed at MV/LV Transformer (X = 100 m)

Figure C-22 shows the outlay in the numerical model. Figure C-23 to C-25 Shows respectively the touch potential at the distribution board area without a safety threshold, with 220 V threshold and with 800 V threshold.

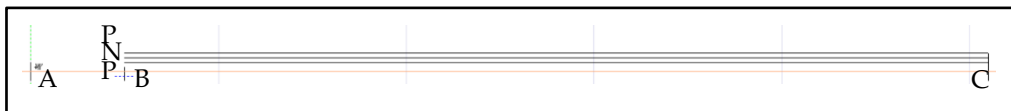


Figure C-22: Outlay in the numerical model (Referenced to Figure 9).

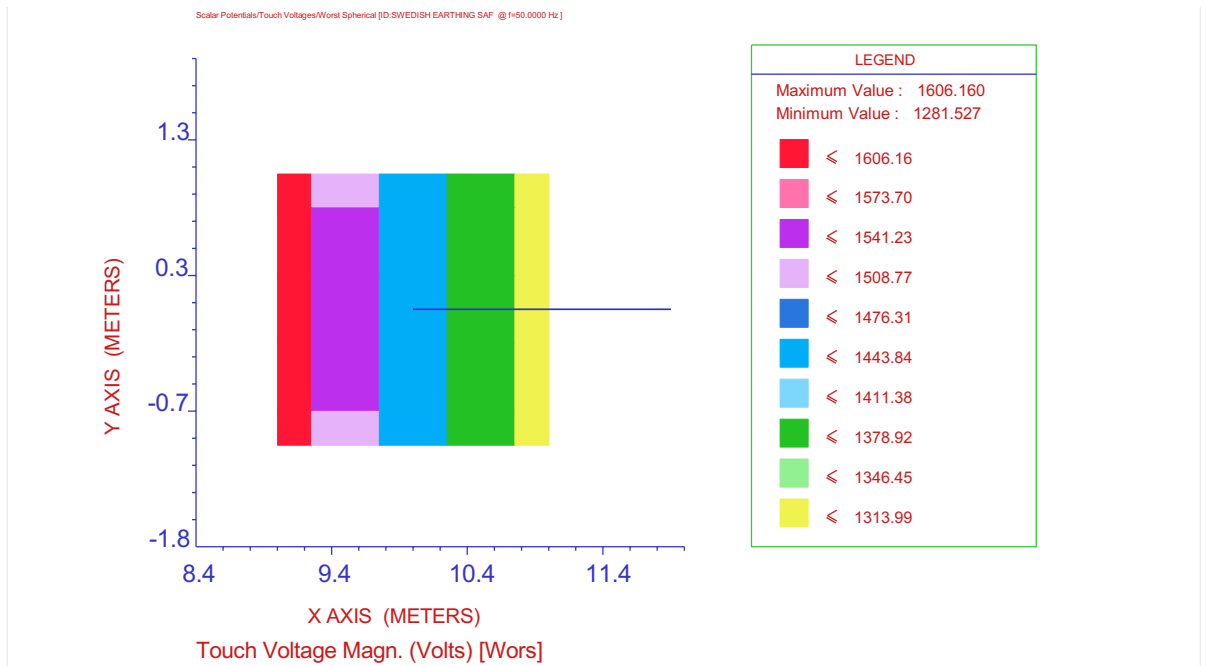


Figure C-23: Touch potential at the distribution board area without a safety threshold.

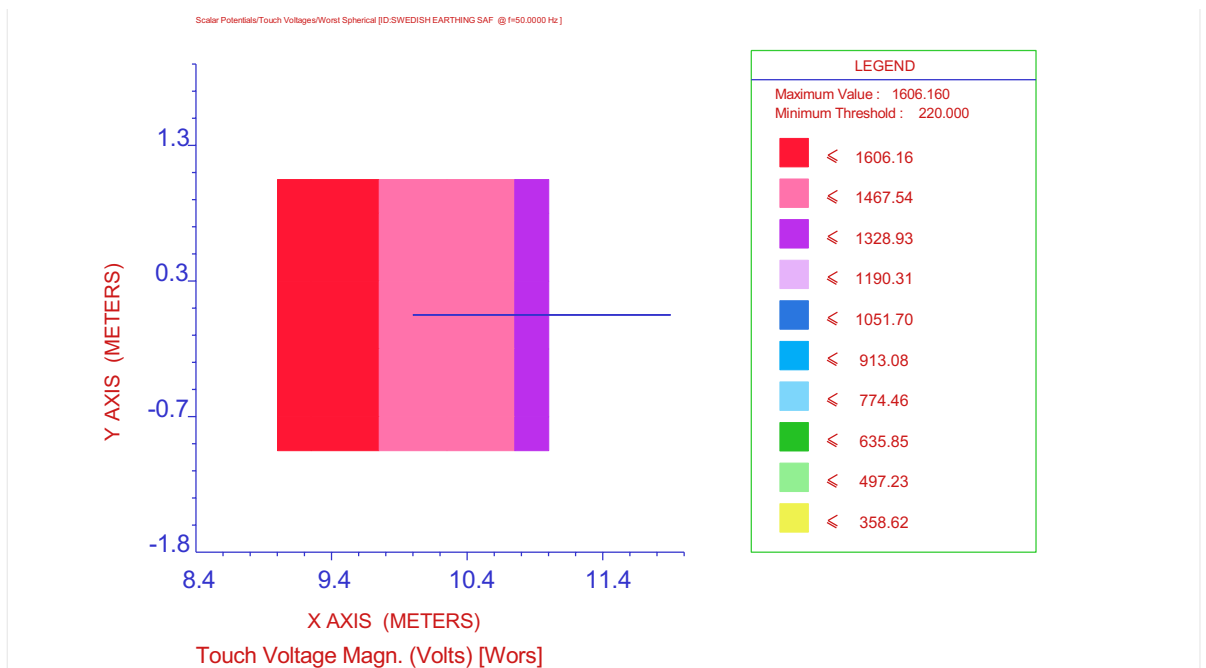


Figure C-24: Touch potential at the distribution board area with 220 V as safety threshold.

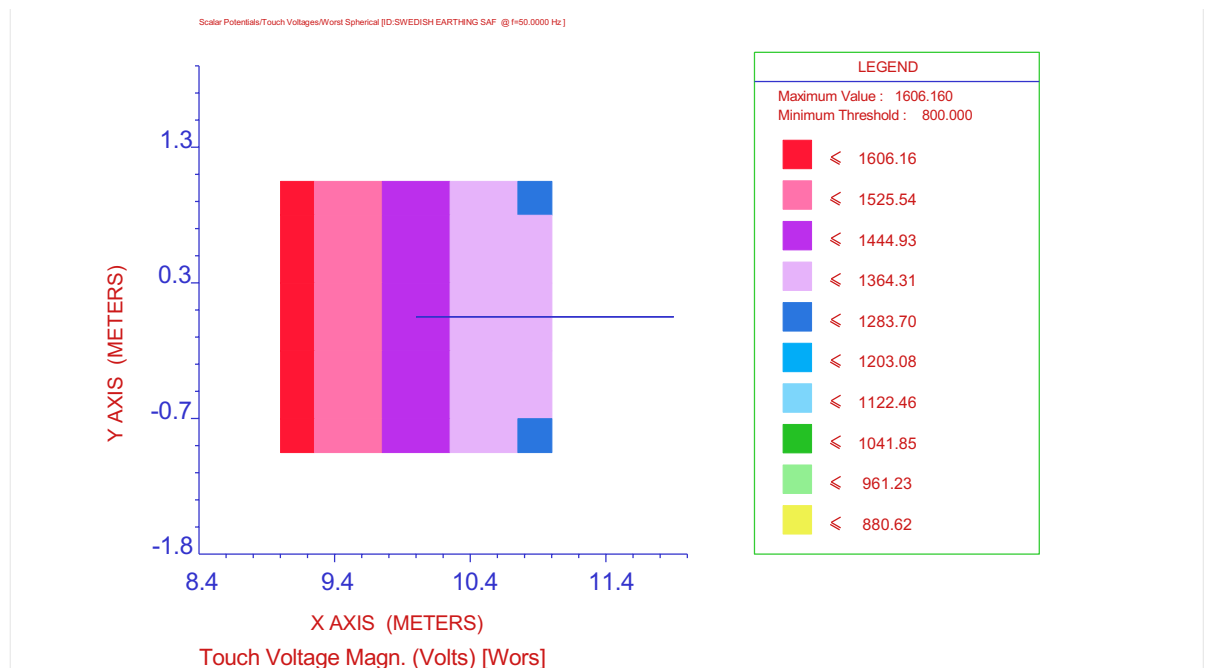


Figure C-25: Touch potential at the distribution board area with 800 V as safety threshold.

C.9 Summary

A summary of the findings from Case 1 to Case 6 is presented in Table C-2.

Table C-2: Summary of the findings from Case 1 to Case 6.

No	Description	Live (P)	Neutral (N)	Earth (PE)	Remarks
Case 1 – Earthed at Residence (Y = 10 m); Earthed at MV/LV Transformer (X = 10 m)					
1	EPR	1455 V	1455 V	1455 V	
2	EPD	0,005 V	0,002 V	Ref	Safe (< 1000 V)
3	Touch Potential (220 V)				Safe (< 220 V)
4	Touch Potential (800 V)				Safe (< 220 V)
Case 2 – Earthed at Residence (Y = 10 m); Earthed at MV/LV Transformer (X = 50 m)					
1	EPR	947 V	947 V	947 V	
2	EPD	0,1 V	0,093 V	Ref	Safe (< 1000 V)
3	Touch Potential (220 V)				Safe (< 220 V)*
4	Touch Potential (800 V)				Safe (< 220 V)*
Case 3 – Earthed at Residence (Y = 10 m); Earthed at MV/LV Transformer (X = 100 m)					
1	EPR	871 V	871 V	872 V	
2	EPD	0,26 V	0,23 V	Ref	Safe (< 1000 V)
3	Touch Potential (220 V)				Safe (< 220 V)*
4	Touch Potential (800 V)				Safe (< 220 V)*
Case 4 – Not Earthed at Residence (Y = 10 m); Earthed at MV/LV Transformer (X = 10 m)					
1	EPR	1324 V	1324 V	1324 V	
2	EPD (Ref to earth at 10 m)	263 V	263 V	263 V	Safe (< 1000 V)
3	Touch Potential (220 V)				Unsafe (263 V)

4	Touch Potential (800 V)				Safe (< 439 V)
Case 5 – Not Earthed at Residence (Y = 10 m); Earthed at MV/LV Transformer (X = 50 m)					
1	EPR	306 V	306 V	306 V	
2	EPD (Ref to earth at 10 m)	1281 V	1281 V	1281 V	Unsafe (1000 V)
3	Touch Potential (220 V)				Unsafe (1333 V)
4	Touch Potential (800 V)				Unsafe (1325 V)
Case 6 – Not Earthed at Residence (Y = 10 m); Earthed at MV/LV Transformer (X = 100 m)					
1	EPR	156 V	156 V	156 V	
2	EPD (Ref to earth at 10 m)	1431 V	1431 V	1431 V	Unsafe (1000 V)
3	Touch Potential (220 V)				Unsafe (1468 V)
4	Touch Potential (800 V)				Unsafe (1445 V)

* Safe only in immediate vicinity of earth point.

DIREKTJORDADE STARK- STRÖMSANLÄGGNINGARS PÅVERKAN

Syftet med projektet är att ta fram underlag för att bedöma om det är rimligt att tillåta högre beröringsspänningsnivåer på utsatta delar, för kortare felbortkopplingstider, vid jordfel i de direktjordade högspänningssystemen, i enlighet med svensk standard SS EN 50522, utg 2:2022, och anpassa utformningen av Elsäkerhetsverkets föreskrift ELSÄK-FS 2022:1, som nu kräver en maximal beröringsspänning om 220 V och en maximal felbortkopplingstid om 0,5 sekunder, med tillräcklig säkerhet mot sak- och förmögenhetsskada. Elchock och personskador behandlas inte i projektet. Baserat på resultaten från riskanalysen dras slutsatsen att det inte identifierats några tungt vägande skäl som talar mot en sådan föreskriftsanpassning.

Ett nytt steg i energiforskningen

Forskningsföretaget Energiforsk initierar, samordnar och bedriver forskning och analys inom energiområdet samt sprider kunskap för att bidra till ett robust och hållbart energisystem. Energiforsk är ett politiskt neutralt och icke vinstutdelande aktiebolag som ägs av branschorganisationerna Energiföretagen Sverige och Energigas Sverige, det statliga affärsverket Svenska kraftnät, samt gas- och energiföretaget Nordion Energi. Läs mer på energiforsk.se.

